
不确定性下的供应链金融、中小企业融资与银行业结构

王勇 徐铭志 金伟

内容提要 供应链金融（Supply Chain Finance, SCF）是供应链与融资相结合的新型金融服务模式。本文首先利用 2006-2020 年中小板企业数据，实证发现 SCF 能有效缓解中小企业融资约束并有助于减少经营不确定性。然后，本文构建模型从理论上阐述不确定性条件下三种典型 SCF 模式对企业融资的作用和机制。研究表明：企业经营不确定性、融资规模、自有抵押物价值与银行风险厌恶程度、监督能力、资金使用成本共同决定了企业融资可得性与最优融资渠道，而 SCF 减少了企业经营不确定性并提高了银行监督能力，进而缓解了企业融资约束。最后，本文分析引入 SCF 后如何导致最适宜银行业结构变迁。本文对引导 SCF 精准实施与金融结构改革具有重要的政策意义。

关键词 经营不确定性 供应链金融 企业融资 银行业结构

一 引言

如何缓解中小企业融资难、融资贵的问题一直是业界、学术界与政策界共同关心的重点话题。特别是近年来，全球贸易保护主义抬头给国内的供应链带来了巨大的经营风险（中国社会科学院工业经济研究所课题组和张其仔，2021），加之新冠疫情的爆发和局部反复，国内企业的生产经营面临着巨大的不确定性^①。如何在不确定性条件下为中小企业拓展融资渠道、帮助企业解决资金流断裂的危机，既是当下稳定中小企业生产、提高中小企业抗风险能力的迫切需要，也是后疫情时代实现中小企业稳增长、防风险、促就业、进而实现产业升级与经济增长的长期任务（王勇，2021）。

供应链金融作为近些年兴起的一种新型商业银行融资服务模式，为缓解中小企业融资难问题、帮助中小企业应对不确定性所带来的负面影响等方面提供了新的思路^②。它旨在帮助供应链上企业满足日常融资需求，是专注于降低企业融资成本并提高其以及整个供应链商业运行效率的一系列解决方案的总称（Pfohl and Gomm, 2009; Camerinelli, 2009; Lam and Zhan, 2021）。根据融资企业所处供应链位置的不同，供应链金融主要被划分为三种典型模式：应收账款融资，预付账款融资和存货质押融资（More and Basu, 2013; Wuttke *et al.*, 2013; Chakuu *et al.*, 2019; Lam and Zhan, 2021）。其中，应收账款融资，也被称作反向保理，它针对的是处在供应链上游的中小融资企业，通过这种方式，中小企业实际上变相地依靠了下游核心企业相对更高的信用进行融资（Wuttke *et al.*, 2013; Van der Vliet *et al.*, 2015; Liebl *et al.*, 2016; Wuttke *et al.*, 2019）；预付账款融资是针对处在供应链下游的中小企业所提供的一种融资服务，一方面，它引入了第三方物流，实现了对抵押物（中小企业向上游核心企业订购的货物）的高效监督，另一方面，依靠上游核心企业的回购担保，减少了中小企业违约后银行贷款的损失（董振宁等，2018）；存货质押融资针对的是供应链中存货多且周转时间长的中小企业，与预付账款融资相似，存货融资也引入了第三方物流，从而使存货这种流动资产得以转变为更易受监督的抵押品，以进一步获取银行等金融机构融资（Yan and Sun, 2013; Gelsomino *et al.*, 2019）。可以发现，区别于传统贷款模式中把中小企业作为单独贷款个体进行资质审核的方式，在供应链金融模式下，银行依托供应链上下游核心企业的信用、供应链完善的物流信息、资金周转信息等，将贷款企业融入进整个供应链中进行审查，从而有助于大幅度降低银行贷款风险和贷后监督成本、缓解中小企业融资难问题。

^① 根据一份疫情阶段性调查（李涵等，2020），有 87.9% 的中小企业受到了疫情的负面影响，高于 30% 的中小企业的现金流维持的时间不超过 3 个月，在计划和已经终止生产经营的企业中，有 35.6% 的中小企业终止经营的原因是资金问题。

^② 2017 年，国务院办公厅发布了《关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》，鼓励商业银行等金融机构开展供应链金融服务，为中小企业提供高效便捷的融资渠道。2020 年，为了扩大对中小企业的融资支持，帮助中小企业从疫情中恢复生产，工业和信息化部、中国人民银行和银保监会等八部门相继发布了《关于应对新型冠状病毒肺炎疫情帮助中小企业复工复产共渡难关有关工作的通知》和《关于进一步强化中小微企业金融服务的指导意见》，要求创新融资产品、积极推动运用供应链金融等融资方式扩大对中小企业的融资支持。2021 年，创新供应链金融服务模式更是首次被单独列入到了政府工作报告中。

除了探究供应链金融对中小企业融资的直接影响外,另有一支文献分析了供应链金融在降低中小企业经营不确定性上发挥积极作用的可能性。根据马利军等(2015)的研究,下游企业能通过向上游企业提前支付货款达到提高货物供应稳定性的目的,他们的模型表明:下游企业向上游企业提前支付货款的比例越高,则上游供应商提供的供应波动程度越小。除了稳定供应外,供应链金融所结成的上下游供应链关系在面对需求不确定性时同样具有积极作用。Yang and Birge (2018)的模型发现,当下游企业面对的需求具有随机性时,供应链合同所形成的贸易信贷能够帮助企业与供应商之间进行风险分担。Nguema *et al.* (2021)通过收集对中国 210 家公司的调查数据,实证发现供应链金融能够有效降低供应链中包含的风险,以提高供应链整体的稳定性。

目前,供应链金融在学术界越来越受到关注(胡跃飞和黄少卿,2009; Song *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2018; Wuttke *et al.*, 2019; 龚强等, 2021)。然而,首先,目前的研究多是利用定性与案例分析的方式对供应链金融进行探究(如 More and Basu (2013)、Wuttke *et al.* (2013)、Liebl *et al.* (2016)、Chen *et al.* (2019)等),或是通过实证对供应链金融的作用效果进行评估(如张伟斌和刘可(2012)、刘可和缪宏伟(2013)、宋华等(2017)、Nguema *et al.* (2021)等),虽有少部分研究针对供应链金融的某种单一模式进行了分析(如 Yan and Sun (2013)、Yang and Birge (2018)等),但完整地对比供应链金融的三种典型模式进行理论研究,尤其是针对它们缓解中小企业融资约束的效果及其相关机制的分析还比较缺乏;其次,对于供应链金融降低企业经营不确定性的作用方面,现有文献已经有了一些理论和实证结果,但是,对于引入供应链金融后企业经营不确定性下降又会给企业融资带来怎样的变化这一问题,文献并未作进一步探究;最后,现有研究在分析供应链金融的作用时,大多把中小企业和银行视为同质的借贷双方,忽略了不同企业在融资规模、可提供抵押物价值以及经营不确定性上的差别,忽略了不同规模银行在风险厌恶程度、监督能力、资金使用成本之间的差异,因而无法深入系统探究供应链金融对不同企业、不同银行作用效果的异质性。已有文献指出,不同发展阶段的经济体由于要素禀赋结构不同,其最优产业结构也就不同,而又因为不同产业与企业在规模和风险特性上存在异质性、不同规模的银行在资金成本和监督能力等特性上存在异质性,所以决定了该经济体最适宜的银行业结构(不同规模银行的最佳比重)也不同(林毅夫等, 2009; 龚强等, 2014; 杨子荣和张鹏杨, 2018; 杨子荣和王勇, 2018)。因此,如果供应链金融的引入对不同企业和不同银行的作用存在异质性,那么一个重要的问题是,这种异质性是否会给最适宜银行业结构带来变化?针对这一问题,目前供应链金融的相关文献尚未进行探究,而从“最适宜银行业结构”这支文献本身的角度而言,也缺乏考察供应链金融这类金融创新工具的引入对最适宜银行业结构所形成影响的研究。综上,本文立足不同企业、不同规模银行的上述差异,通过构建理论模型,系统考察不确定性条件下引入供应链金融前后中小企业融资以及最适宜企业融资需求的银行业结构的变化情况,具体而言:在企业经营不确定性的条件下,供应链金融三种典型模式对中小企业融资的作用机制和作用效果如何?供应链金融作用后不同规模银行受到的影响如何?该影响又会如何改变最适宜银行业结构?

相比已有文献,本文的主要贡献和结论如下:

首先,在建立模型前,本文通过实证分析,检验了供应链金融缓解中小企业融资约束的有效性以及供应链金融对中小企业经营不确定性的积极作用。关于前者,虽然已有部分文献进行了一些实证研究,但在衡量企业供应链金融水平时,这些文献在企业层面大都采取了短期借款与应付票据和这一指标,我们分析了这一指标可能存在的内生性问题,指出了其内生性的两类来源,并针对这两类潜在内生性问题,采用手工收集各省供应链金融发展政策以及采取 Arellano and Bond (1991)的方式构建了工具变量,从而更加严谨地验证了供应链金融对缓解企业融资约束的有效性;对于后者,目前相关的分析比较缺少,尤其是提供直接经验证据的文献还不足,我们的实证结果有助于补充现有文献。

然后,结合实证结果,本文构建了理论模型:

第一,首次从经营不确定性的角度探究了供应链金融对企业融资的影响,补充了现有理论尚未探究引入供应链金融所导致的企业经营不确定性下降如何影响企业融资的空白,模型结果表明:供应链金融的三种典型模式,通过降低中小企业经营的不确定性,带来了中小企业向银行融资所需抵押率的下降和期望收益的增加,从而改善了中小企业的融资状况;

第二,区别于已有供应链金融研究中企业及银行的同质设定,本文在模型中引入了在经

营不确定性、融资规模、自有抵押品价值上具有差异的异质性企业，以及在风险厌恶、监督能力、资金使用成本上具有差异的不同规模银行，不仅分析了供应链金融对不同企业融资的作用，更首次探究了供应链金融对不同规模银行的异质性影响，理论结果表明：不考虑其他差异，风险厌恶程度更高的银行面对企业经营不确定性时所需的贷款抵押率更高，而当企业经营不确定性下降时，风险厌恶程度更高的银行所需的贷款抵押率下降幅度将低于风险厌恶程度更低的银行，因此，给定异质性企业的分布，当引入供应链金融降低了企业经营的不确定性后，风险承受能力更强的大银行贷款抵押率下降的幅度将超过小银行，从而导致整个企业分布对大银行贷款需求的增加（最适宜银行业结构变迁）；

第三，模型完整分析了三种典型供应链金融模式对企业融资和不同规模银行贷款需求（最适宜银行业结构）的影响效果与作用机制，不仅从不确定性的角度展现了三种模式的共性——均通过降低企业经营不确定性改善了企业融资状况并带来了整个企业分布对大银行贷款需求的增加，同时进一步揭示出了不同模式的差异性：在改善企业融资状况的作用机制上，相比应收账款融资，预付账款融资和存货融资由于引入了第三方物流，实现了更加有效的贷后监督，从而带来了银行监督成本的下降，而相比存货融资，预付账款融资还进一步实现了上游核心企业对贷款购买所得货物的回购担保，从而降低了下游企业违约后银行的贷款损失；在对最适宜银行业结构的影响与作用机制上，由于大小银行在监督能力、资金使用成本上存在差异，而第三方物流的引入能够削弱小银行相比大银行在监督上的优势，从而变相增加了大银行在资金使用成本上相对小银行在监督上的比较优势，因此相比应收账款融资，预付账款融资和存货融资会进一步加深整个企业分布对大银行贷款需求的增加，而进一步的分析表明，即使都引入了第三方物流，预付账款融资和存货融资导致的最适宜银行业结构的变化程度也不相同——存货融资中对大银行贷款需求的增加幅度会高于预付账款融资。

上述的理论结果具有重要的政策意义。一方面，这些结论为不确定性条件下如何运用供应链金融各种模式改善企业融资状况提供了支持；另一方面，它们第一次指出了供应链金融对最适宜银行业结构的影响，为推动现有的银行业结构与最适宜银行业结构相互匹配提供了一个全新的思路，即：区别于以往通过增设中小银行等金融机构以降低已有银行业结构中过高大银行机构占比的方式（李志赟，2002；林毅夫等，2009；姚耀军和董钢锋，2015），借助供应链金融三种典型模式能够推动最适宜银行业结构朝大银行更多的方向变迁这一作用，就能反过来引导最适宜银行业结构去适配现有的银行业结构，在不需要增设新的中小银行的情况下，就能实现已有银行业结构与最适宜银行业结构的匹配，使现有的金融资源得到充分发挥，不仅节约了增设中小银行所需的资金与时间，同时也间接避免了增设过多金融机构所带来的风险。

最后，本文结果不仅填补了供应链金融领域研究的空白，还拓展了“最适宜银行业结构”相关领域的研究：第一，以往相关文献在探究最适宜银行业结构如何决定时，并未考虑不同规模银行的风险厌恶差异，本文新增了这一视角；第二，随着信息技术的快速发展，各种金融创新层出不穷，然而这一领域尚未有文献针对包括供应链金融在内的金融创新会如何影响最适宜银行业结构这一问题进行正式的理论分析，本文的研究，为探究这类问题提供了一个分析框架，有助于延伸这一领域的研究。

本文余下的部分安排如下：第二部分实证检验供应链金融对中小企业融资以及中小企业经营不确定性的影响；第三部分介绍理论模型的基本设置，并探究未采取供应链金融时中小企业的融资情况；第四部分结合实证的结果分别分析三种供应链金融模式对中小企业融资的作用机制与作用效果；第五部分通过对比，分析采取供应链金融前后产业内最适宜银行业结构的变化情况；第六部分进行总结，并提出政策性建议。

二 实证分析

（一）文献回顾与实证假设

企业融资主要可分为直接融资与间接融资。由于中国的中小企业大多属于劳动密集型产业，规模相对较小，无法承担直接融资的成本（林毅夫和李永军，2001），因此相比直接融资，向银行等金融机构进行间接融资的可行性更高。然而，中小企业向银行融资同样存在困难。一方面，相比大规模企业，中小企业信息披露程度更低，与银行等金融机构之间的信息不对称问题更严重，最终导致中小企业面临的信贷配给形势更加严峻（Stiglitz and Weiss，

1981); 另一方面, 中小企业本身规模小, 满足银行要求的可用抵押资产更少, 因此难以获得银行融资 (Chan and Kanatas, 1985; 王霄和张捷, 2003)。

为解决中小企业融资难问题, 一些学者专注银行业本身的改革, 包括发展关系型贷款、放开银行业市场准入、增加贷款利率弹性以及深化银行内部激励制度等 (Peterson and Rajan, 1994; Berger and Udell, 1995; Berger and Udell, 2002; 张晓玫和潘玲, 2013; 边文龙等, 2017)。另外一些学者从我国当前劳动相对密集、资源相对稀缺的要素禀赋出发, 提出建立与中小企业发展相适应的金融结构 (林毅夫等, 2009), 通过发展中小银行、地方性金融机构的方式补位中小企业融资渠道 (李志赟, 2002; 姚耀军和董钢锋, 2015; 李广子等, 2016)。

随着供应链的成熟和发展, 供应链金融开始逐渐展现出其缓解中小企业融资约束的可能性。胡跃飞和黄少卿 (2009) 系统梳理了供应链金融的实体经济背景, 并对供应链金融的含义进行了界定, 即: 供应链金融是为适应处在供应链中的企业资金需求而进行的资金与相关服务定价以及市场交易的活动。在探究供应链金融对中小企业融资的影响方面, 张伟斌和刘可 (2012), 刘可和缪宏伟 (2013) 运用上市公司数据, 实证检验了供应链金融缓解中小企业融资约束的效果; 宋华等 (2017) 采用嵌入式案例研究法, 发现相比传统银行借贷, 供应链金融能够提高中小企业的融资绩效。在探究供应链金融对中小企业经营的影响方面, 宋华等 (2021) 对比了两种不同导向的供应链金融对企业绩效的影响, 发现金融导向的供应链金融能够提高中小企业的财务绩效, 而供应链导向的供应链金融在改进中小企业运营效率的同时, 还降低了企业的风险。Nguema *et al.* (2021) 的研究更进一步发现, 供应链金融能够帮助改善制造业供应链整体的运行效率, 并且能够显著降低供应链的风险。

可以发现, 供应链金融通过结合企业融资与供应链运行, 一方面将供应链作为整体纳入到了中小企业融资过程中, 使银行等金融机构能够依赖供应链整体信息、核心企业信用以及第三方物流监督等对中小企业授信, 从而有助于降低银行的贷后监督成本以及贷款违约风险, 最终有利于提高中小企业银行贷款的可获得性, 进而缓解中小企业的融资约束; 另一方面, 供应链金融这种关系建立的本身, 也使得这些中小企业能够加强与链上核心企业、物流企业的联系与合作, 在一定程度上提高了中小企业进货来源 (预付账款融资) 和销售渠道 (应收账款融资与存货融资) 的稳定性, 因此, 供应链金融关系的建立本身还有利于降低中小企业自身经营的不确定性, 而可以预见, 这种变化同样也会给缓解中小企业融资约束困境带来积极影响。故综合上述分析, 我们提出以下两个实证假设: 1. 供应链金融能够缓解中小企业的融资约束; 2. 供应链金融能够降低中小企业经营的不确定性。

(二) 实证方法

1. 供应链金融与中小企业融资

为了检验供应链金融是否能够有效缓解中小企业融资约束, 首先需要检验中小企业是否存在融资约束。借鉴 Almeida *et al.* (2004) 提出的现金-现金流模型, 并参考连玉君等 (2008) 的研究, 构建以下实证模型:

$$\Delta cash_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 CF_{i,t} + \beta_2 IG_{i,t} + \beta_3 size_{i,t} + \beta_4 \Delta NWC_{i,t} + \beta_5 \Delta SD_{i,t} + \beta_6 Expend_{i,t} + e_{i,t} \quad (1)$$

其中, $cash$ 是企业现金及现金等价物占总资产的比, $\Delta cash$ 衡量了企业的现金流变动; CF 是核心解释变量, 表示企业当年经营活动现金流量净额占总资产的比。按照现金-现金流模型, 如果企业存在融资约束, 那么当企业遇到现金需求时只能依赖于自己的现金, 因此具有融资约束的企业会有强烈的动机储存现金, 以应对这种需求。通过检验 CF 前的系数是否显著为正, 可以检验中小企业是否存在融资约束。除 CF 外, 模型中还有其他控制变量, 包括: 企业成长机会 IG , 用主营业务收入增加率来衡量; 企业规模 $size$, 用企业当年的资产规模取自然对数获得; 企业当期非现金净营运资本占总资产比与上一期对应比的差 ΔNWC ; 企业短期负债占总资产比与上一期对应比的差 ΔSD ; 企业资本支出占总资产的比 $Expend$ 。由于非现金净营运资本以及短期负债是企业面对支出需求时替代现金的一种支付方式, 因此可以预期, ΔNWC 以及 ΔSD 的回归系数符号应为负。资本支出会降低企业现金, 因此, $Expend$ 的回归系数符号应为负。

如果回归证明中小企业存在融资约束, 则进一步检验供应链金融能否缓解这种融资约束, 实证模型如下:

$$\Delta cash_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 SCF_{i,t} * CF_{i,t} + \beta_2 SCF_{i,t} + \beta_3 CF_{i,t} + \beta_4 IG_{i,t} + \beta_5 size_{i,t} + \beta_6 \Delta NWC_{i,t} + \beta_7 \Delta SD_{i,t} + \beta_8 Expend_{i,t} + e_{i,t} \quad (2)$$

(2)在(1)的基础上加入了衡量企业供应链金融水平的指标 SCF 以及 SCF 和 CF 的交乘项。已知文献中主要有两类刻画供应链金融水平的方法，一种是采用同期全国短期贷款发生额、商业汇票发生额和贴现发生额衡量供应链金融水平（张伟斌和刘可，2012）；另一种是采用企业短期借款和应付票据之和占企业总资产的比来衡量供应链金融水平，原因是，预付账款融资会形成企业的应付票据，而应收账款融资和存货融资采取的是质押贷款的方式，因此会形成企业的短期借款（姚王信等，2017）。由于模型设定为企业层面，故我们采取后者。

但一方面，由于企业短期借款和应付票据并不仅是由于供应链金融形成的，除了供应链金融，企业也可能从其他渠道产生短期借款和应付票据，所以企业真实的供应链金融水平和 SCF 指标之间存在误差，因此会有内生性问题；另一方面，企业现金可能反过来影响企业当期的短期借款和应付票据，例如缺乏现金时企业可能会进行短期借款或以票据的方式支付款项等，因此 $\Delta cash$ 和 SCF 之间可能存在互为因果的关系，同样带来内生性问题。

为了解决内生性所带来的估计偏误，我们引入工具变量。

针对第一种内生性原因，本文手工搜集了数据中各企业所在省明确鼓励或发展供应链金融的政策文件，以此构建第一个工具变量。首先，地方供应链金融政策很大程度上影响着企业供应链金融的发展水平，故使用供应链金融政策做工具变量，能够满足相关性要求；其次，就外生性要求而言，使用省级政策构建工具变量也具有合理性，主要基于以下三个原因：第一，省级政策本身难以受到单个企业的影响和制约；第二，这些政策虽发布时间有所差别，但大多依据的是《国务院办公厅关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》文件，是中央政策在地方上的具体落实，从这个意义上而言，这些政策对地方整个企业集体也具有一定的外生性；第三，这些供应链金融政策更多偏向“鼓励”性质而非“准入”或“必须”性质，在这些政策发布前，已经有企业开展供应链金融的实践，因此就动机上而言，企业影响这些政策制定的理由也并不充分。综上，我们使用省级供应链金融政策构建工具变量。具体构建过程如下：对单个企业，如果该企业所在省在当年或者此前已经出台了明确鼓励或发展供应链金融的政策文件，那么该工具变量取值为 1，否则为 0。

针对第二种内生性原因，参考 Arellano and Bond (1991) 的研究，我们使用 SCF 的多期滞后项做工具变量。滞后项能够反映企业往年的供应链金融水平，不仅与企业当期供应链金融水平高度相关，同时能够缓解 $\Delta cash$ 与 SCF 的反向因果关系。因此，使用这些指标作为 SCF 的工具变量。

最后对应地，用上述工具变量与 CF 的交乘项作为原交乘项的工具变量。

如果回归模型(2)中 $SCF*CF$ 前的系数显著为负，说明供应链金融确实能够缓解中小企业融资约束，否则，则不能证明这一结论。

2. 供应链金融与企业经营不确定性

为了考察供应链金融对企业经营不确定性的影响，构建以下回归模型：

$$Vebit_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 SCF_{i,t} + \beta_2 IG_{i,t} + \beta_3 size_{i,t} + \beta_4 ROA_{i,t} + \beta_5 lev_{i,t} + \beta_6 Etaxrt_{i,t} + \beta_7 board_{i,t} + \beta_8 soe_{i,t} + \beta_9 age_{i,t} + e_{i,t} \quad (3)$$

$Vebit$ 衡量了企业经营的不确定性，用企业近三年息税前利润占总资产比的标准差进行测算； SCF 是核心解释变量，与上一节相同，仍采用企业短期借款和应付票据之和占企业总资产的比来衡量，并引入相同的工具变量。如果 SCF 前的回归系数显著为负，说明供应链金融确实能够降低企业经营的不确定性，否则，则不能证明这一结论。

除 SCF 外，参照已有研究（李琳等，2009；曾雪云和陆正飞，2016），本文还控制了其他变量，包括：企业成长机会 IG 、规模 $size$ 、总资产回报率 ROA 、资产负债率 lev 、实际税率 $Etaxrt$ 、董事会规模 $board$ 、性质 soe （国营或国有控股取 1，其他取 0）以及成立时间（年） age 。

（三）数据来源与描述性统计

回归所需的企业层面数据来源于 CSMAR 数据库，收集了 2006-2020 年非金融类中小板上市制造业企业数据，在删除 ST 类企业并进行 1% 的缩尾处理后，形成样本。此外，本文

手工收集了中国港澳台地区以外的全国 31 个省级行政区出台的明确鼓励或开展供应链金融的政策文件，以构造工具变量。

表 1 给出了企业层面各变量的统计指标。

可以发现，企业现金及现金等价物占企业总资产比变动的均值为-2%，最小为-30.1%，最大为 26.7%，两极差异较大。对于 *SCF*，最大的为 0.528，最小的为 0，平均为 0.157，标准差为 0.124，说明不同企业间的供应链金融水平差距较大。企业经营活动现金流量净额占总资产比平均为 5.2%，现金流入最多的达 24.2%，而现金流出最多的为 15%。不同企业成长性也体现出巨大的差异，主营业务收入增长率最多的为 202.7%，增长强劲，而最少的为-49.2%，呈现衰退。企业资产规模则相对集中，平均为 21.653。作为替代现金支出的两种方式，企业非现金净营运资本占总资产比变动的均值为-0.003，呈现出减少的趋势，而短期负债占总资产比变动的均值为 0.008，呈现出增加的趋势。资本支出占总资产比的均值为 6.4%，最小为 0.1%，最大为 24.8%，呈现出一定的区别性。企业经营不确定性 *Vebit* 最小为 0.001，最大为 0.235，相较于均值 0.028，两极存在较大差异。样本中企业总资产回报率最小为负，提示存在企业亏损，且其绝对值与最大值较接近，说明不同企业的盈利能力差别较大，资产负债率、实际税率的两极值也存在类似表现。这些体现了样本企业在规模性质、经营能力、财务结构等方面的差异，反映了样本的代表性。

变量	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
<i>Δcash</i>	6167	-0.02	0.09	-0.301	0.267
<i>SCF</i>	5927	0.157	0.124	0	0.528
<i>CF</i>	6876	0.052	0.067	-0.15	0.242
<i>IG</i>	6168	0.17	0.328	-0.492	2.027
<i>size</i>	6876	21.653	0.944	19.743	24.49
<i>ΔNWC</i>	6168	-0.003	0.101	-0.313	0.297
<i>ΔSD</i>	6168	0.008	0.077	-0.249	0.236
<i>Expend</i>	6876	0.064	0.052	0.001	0.248
<i>Vebit</i>	6210	0.028	0.034	0.001	0.235
<i>ROA</i>	6876	0.048	0.057	-0.224	0.212
<i>lev</i>	6876	0.356	0.174	0.046	0.822
<i>Etaxrt</i>	6876	0.147	0.134	-0.483	0.668
<i>board</i>	6859	8.396	1.457	0	15
<i>soe</i>	6766	0.128	0.334	0	1
<i>age</i>	6766	14.08	6.072	1	53

注：数据来源于 CSMAR 数据库。

（四）回归结果

表 2 报告了模型(1)的回归结果。前五栏分别记录了简约式 (Almeida 等, 2004)、混合回归、个体固定效应回归、时间固定效应回归以及个体时间双固定效应回归的结果。对于核心解释变量 *CF*，可以发现，无论哪种回归方式，其系数都在 1%的水平上显著为正，说明中小企业确实存在融资约束。以(2)为例，在其他条件不变的情况下，*CF* 每增加 1 个标准差，*Δcash* 平均增加 0.0694 个标准差。对于企业的成长机会 *IG*，除(1)外，其余回归结果均显示其系数在 1%的水平上显著为正，说明成长机会越大，企业越倾向留存更多现金。(2)-(5)对模型进行了完整回归，可以发现，*ΔNWC*、*ΔSD* 前的系数均在 1%的水平上显著为负，这符合前述对非现金净营运资本以及短期负债作为企业替代现金支出手段的预期。对于资本支出，回归结果显示其系数在 1%的水平上显著为负，同样符合前述资本支出会减少企业现金的预期。

表 2 的结果验证了中小企业融资约束的存在性。进一步，为了探究供应链金融对中小企业融资约束的缓解效果，我们按照模型(2)进行回归，结果如表 3 所示。

表 3 前五列采取了与表 2 相同的回归方式，后两列展示了工具变量的回归结果，其中，(6)采用了政策二元变量、*SCF* 的一阶、二阶滞后项做工具变量，(7)调整了阶数，使用了 *SCF* 的二阶、三阶滞后项。关注 *SCF*CF* 前的系数，可以发现，除(1)外，其余六列 *SCF*CF* 前的系数都至少在 5%的水平上显著为负，特别地，工具变量的回归结果在 1%的水平上显著，这

充分说明了供应链金融有助于缓解中小企业的融资约束。对于其他控制变量，其系数符号以及显著性整体与表 2 相似，一定程度上体现了回归结果的稳健性。

变量	(1) $\Delta cash$	(2) $\Delta cash$	(3) $\Delta cash$	(4) $\Delta cash$	(5) $\Delta cash$
<i>CF</i>	0.235*** (0.0191)	0.0948*** (0.0157)	0.0845*** (0.0212)	0.0817*** (0.0152)	0.0773*** (0.0207)
<i>IG</i>	-0.0096** (0.0042)	0.0205*** (0.0044)	0.0218*** (0.0044)	0.0193*** (0.0045)	0.0206*** (0.0045)
<i>size</i>	0.0108*** (0.0011)	0.0063*** (0.0009)	0.0102*** (0.0018)	0.0043*** (0.0010)	0.0050* (0.0028)
ΔNWC		-0.609*** (0.0203)	-0.614*** (0.0211)	-0.606*** (0.0205)	-0.618*** (0.0212)
ΔSD		-0.820*** (0.0251)	-0.818*** (0.0260)	-0.814*** (0.0250)	-0.817*** (0.0259)
<i>Expend</i>		-0.433*** (0.0228)	-0.587*** (0.0273)	-0.394*** (0.0232)	-0.558*** (0.0286)
企业固定效应	否	否	是	否	是
年度固定效应	否	否	否	是	是
<i>N</i>	6167	6167	6167	6167	6167
调整 R^2	0.044	0.412	0.442	0.431	0.456

注：括号中为聚类稳健标准误，“***”、“**”、“*”分别表示在 1%、5%、10% 水平上显著，下表同。

变量	普通 OLS					工具变量	
	(1) $\Delta cash$	(2) $\Delta cash$	(3) $\Delta cash$	(4) $\Delta cash$	(5) $\Delta cash$	(6) $\Delta cash$	(7) $\Delta cash$
<i>SCF*CF</i>	0.161 (0.167)	-0.320** (0.135)	-0.672*** (0.168)	-0.321** (0.130)	-0.630*** (0.165)	-1.001*** (0.230)	-0.973*** (0.284)
<i>SCF</i>	0.0674*** (0.0116)	0.0897*** (0.0108)	0.0853*** (0.0184)	0.0909*** (0.0106)	0.100*** (0.0187)	0.122*** (0.0271)	0.130* (0.0741)
<i>CF</i>	0.243*** (0.0388)	0.179*** (0.0312)	0.209*** (0.0425)	0.173*** (0.0304)	0.199*** (0.0421)	0.284*** (0.0488)	0.295*** (0.0621)
<i>IG</i>	-0.0113** (0.0044)	0.0197*** (0.0047)	0.0209*** (0.0048)	0.0184*** (0.0048)	0.0200*** (0.0049)	0.0183*** (0.0052)	0.0187*** (0.0056)
<i>size</i>	0.0101*** (0.0011)	0.0048*** (0.0010)	0.0087*** (0.0019)	0.0016 (0.0012)	0.0013 (0.0032)	0.0025 (0.0037)	0.0027 (0.0043)
ΔNWC		-0.580*** (0.0221)	-0.594*** (0.0231)	-0.578*** (0.0224)	-0.598*** (0.0233)	-0.551*** (0.0259)	-0.540*** (0.0299)
ΔSD		-0.821*** (0.0274)	-0.822*** (0.0288)	-0.817*** (0.0273)	-0.828*** (0.0288)	-0.721*** (0.0302)	-0.705*** (0.0326)
<i>Expend</i>		-0.434*** (0.0238)	-0.570*** (0.0288)	-0.390*** (0.0244)	-0.534*** (0.0304)	-0.540*** (0.0322)	-0.498*** (0.0356)
企业固定效应	否	否	是	否	是	是	是
年度固定效应	否	否	否	是	是	是	是
<i>N</i>	5299	5299	5299	5299	5299	4338	3775
调整 R^2	0.058	0.408	0.434	0.427	0.448		
<i>F</i> 统计量						82.51	61.33

表 4 报告了模型(3)的回归结果。可以发现，无论哪种回归方式，*SCF* 前的系数均在 1% 的水平上显著为负，表明供应链金融确实能够降低企业经营的不确定性。此外，回归结果还

显示：随着成长机会 IG 增大，企业经营不确定性会有增加的倾向；企业的规模越大、盈利能力越强，企业经营相对更稳定。

表 4 供应链金融与企业经营不确定性

变量	普通 OLS				工具变量	
	(1) <i>Vebit</i>	(2) <i>Vebit</i>	(3) <i>Vebit</i>	(4) <i>Vebit</i>	(5) <i>Vebit</i>	(6) <i>Vebit</i>
<i>SCF</i>	-0.0296*** (0.0083)	-0.0546*** (0.0109)	-0.0306*** (0.0085)	-0.0637*** (0.0121)	-0.0478*** (0.0135)	-0.0382*** (0.0139)
<i>IG</i>	0.0060** (0.0027)	0.0069** (0.0027)	0.0072** (0.0028)	0.0076*** (0.0028)	0.0094*** (0.0031)	0.0109*** (0.0034)
<i>size</i>	-0.0014 (0.0010)	-0.0113*** (0.0028)	-0.0012 (0.0013)	-0.0102*** (0.0029)	-0.0080*** (0.0028)	-0.0091*** (0.0031)
<i>ROA</i>	-0.177*** (0.0221)	-0.188*** (0.0236)	-0.186*** (0.0213)	-0.197*** (0.0233)	-0.224*** (0.0251)	-0.211*** (0.0267)
<i>lev</i>	0.0045 (0.0078)	0.0289** (0.0116)	-0.0002 (0.0082)	0.0285** (0.0119)	0.0135 (0.0128)	0.0169 (0.0139)
<i>Etaxrt</i>	-0.0172*** (0.0039)	-0.0105*** (0.0038)	-0.0154*** (0.0038)	-0.0095** (0.0038)	-0.0092** (0.0042)	-0.0065 (0.0041)
<i>board</i>	-0.0011* (0.0005)	-0.0007 (0.0008)	-0.0011** (0.0005)	-0.0011 (0.0008)	-0.0004 (0.0008)	-0.0004 (0.0008)
<i>soe</i>	-0.0034 (0.0024)	0.0081 (0.0062)	-0.0036 (0.0024)	0.0083 (0.0053)	0.0059 (0.0067)	0.0063 (0.0085)
<i>age</i>	-0.0002 (0.0001)	0.0018*** (0.0005)	-0.0003** (0.0001)	0.0020*** (0.0005)	0.0046*** (0.0016)	0.0052*** (0.0018)
企业固定效应	否	是	否	是	是	是
年度固定效应	否	否	是	是	是	是
<i>N</i>	5287	5287	5287	5287	4330	3768
调整 R^2	0.090	0.113	0.106	0.129		
<i>F</i> 统计量					10.88	10.19

(五) 稳健性检验

前面的回归中，我们采用了制造业企业数据作样本，在这一节，我们采用 2006-2020 年所有非金融类中小板上市企业数据，同样删除 ST 类企业并进行 1% 的缩尾处理，以进行稳健性检验，结果如表 5、表 6、表 7 所示。

根据表 5，在采用所有非金融类中小板上市企业数据作为样本进行回归后， CF 前的回归系数依然在 1% 的水平上显著为正，说明中小企业存在融资约束。

根据表 6，除第一列以外， $SCF*CF$ 前的回归系数均在 1% 的水平上显著为负，从而再次证明了供应链金融能够缓解中小企业融资约束这一结论。

根据表 7， SCF 前的回归系数均在 1% 的水平上显著为负，与之前的结果一致，因此供应链金融确实能够降低中小企业经营的不确定性。

表 5 稳健性检验：中小企业融资约束

变量	(1) $\Delta cash$	(2) $\Delta cash$	(3) $\Delta cash$	(4) $\Delta cash$	(5) $\Delta cash$
<i>CF</i>	0.241*** (0.0157)	0.113*** (0.0134)	0.108*** (0.0181)	0.102*** (0.0131)	0.101*** (0.0178)
企业固定效应	否	否	是	否	是
年度固定效应	否	否	否	是	是
<i>N</i>	7850	7849	7849	7849	7849
调整 R^2	0.049	0.404	0.432	0.419	0.443

注：表 5 前五列的控制变量与表 2 对应列的控制变量保持一致，表 6 前七列以及表 7 前六列的控制变量与表 3、表 4 对应列的控制变量保持一致，在此均不列出。

变量	普通 OLS					工具变量	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	$\Delta cash$	$\Delta cash$	$\Delta cash$	$\Delta cash$	$\Delta cash$	$\Delta cash$	$\Delta cash$
$SCF*CF$	0.0751 (0.132)	-0.289*** (0.112)	-0.637*** (0.134)	-0.295*** (0.109)	-0.605*** (0.132)	-0.929*** (0.192)	-1.082*** (0.229)
SCF	0.0653*** (0.0094)	0.0813*** (0.0088)	0.0764*** (0.0149)	0.0821*** (0.0086)	0.0900*** (0.0152)	0.102*** (0.0255)	0.141** (0.0640)
CF	0.263*** (0.0303)	0.190*** (0.0248)	0.221*** (0.0332)	0.185*** (0.0247)	0.213*** (0.0332)	0.273*** (0.0416)	0.321*** (0.0509)
企业固定效应	否	否	是	否	是	是	是
年度固定效应	否	否	否	是	是	是	是
N	6648	6647	6647	6647	6647	5424	4718
调整 R^2	0.063	0.403	0.428	0.418	0.440		
F 统计量						82.30	60.26

变量	普通 OLS				工具变量	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	$Vebit$	$Vebit$	$Vebit$	$Vebit$	$Vebit$	$Vebit$
SCF	-0.0207*** (0.0064)	-0.0494*** (0.0090)	-0.0212*** (0.0066)	-0.0561*** (0.0103)	-0.0426*** (0.0119)	-0.0438*** (0.0123)
企业固定效应	否	是	否	是	是	是
年度固定效应	否	否	是	是	是	是
N	6632	6632	6632	6632	5415	4711
调整 R^2	0.112	0.136	0.127	0.151		
F 统计量					11.99	11.73

实证分析表明：1.供应链金融能够降低企业经营的不确定性；2. 供应链金融能够有效缓解中小企业的融资约束。本文接下来将构建理论模型，并结合供应链金融能够降低企业经营不确定性这一发现，来系统地研究经营不确定性条件下供应链金融缓解中小企业融资约束的作用机制和影响效果。

三 基准模型框架

这一部分我们构建一个基本的模型框架，首先研究没有供应链金融时中小企业向银行融资的情形。

考虑一个经济体，其特定产业内项目的成功概率为 P_H 。为了简化，我们考察产业内单独一条供应链。供应链上有一家核心企业，它的上游或者下游存在许多中小企业，此外，还有一家第三方物流企业以及一家大银行和小银行。每家中小企业 i 各自都面临一个项目，项目投资规模为 F_i ，企业经营项目成功所获得的单位资金回报率为 π_i 。为了考察企业经营不确定性对企业融资的影响，同时考虑到企业各自经营策略和经营能力的不同，我们假设企业经营项目所带来的回报率具有不确定性， $\pi_i \sim N(a, \sigma_i^2)$ 。除了经营能力上的差别，不同中小企业的融资需求 F_i 也不相同^①。为了满足融资需求，中小企业以抵押或质押的方式向大银行或小银行申请贷款，不同企业自有抵押物或质押物的价值相对融资规模的比率不同，为了简便，后文记为企业的自有抵押率，并用 A_i 表示^②。

如图 1 所示，企业 i 在 $t=0$ 时期面对一个融资需求为 F_i 的项目，它以一定的抵押率 A_i^j 的方式向银行 j 申请贷款（ $j=S$ 表示小银行， $j=B$ 表示大银行），并约定向银行支付利率

^① 简化起见，本文将企业项目的投资规模等同于企业的融资需求，可以证明，即使企业使用自有资金参与部分项目投资，也不影响本文的结论。

^② 本文后续不再具体区分抵押和质押的形式，统称为抵押。

$R_i^j (R_i^j < a)$ ，银行决定是否贷款。银行贷款有资金使用成本，不同银行的单位资金使用成本不同，用 K^j 表示。一般地，大银行由于资金来源广泛、管理技术、经验和流程等都更加规范和标准，单位资金使用成本会比小银行更低，因此 $K^B < K^S$ ，即大银行在资金使用上具有比较优势。除资金使用成本外，银行用于贷款的这部分资金，还有机会成本，每单位资金的机会成本记为 r 。

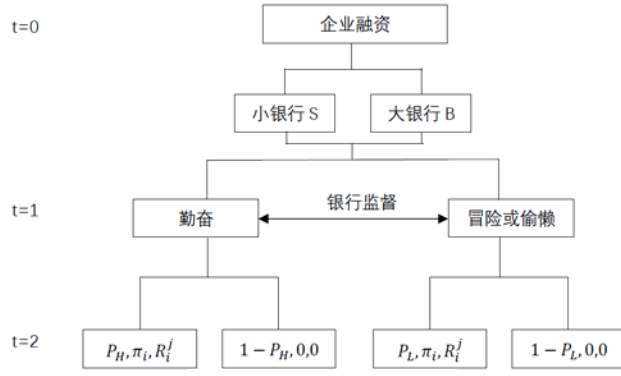


图 1 融资时序

当银行 j 批准贷款后，企业经

营者在 $t=1$ 期开始组织项目的生产经营。由于信息不对称，企业经营者使用贷款资金经营项目时，可以选择勤奋工作，或者偷懒甚至产生挪用贷款资金等冒险行为，以获取私人收益 B ，由此导致整个项目成功的概率由 P_H 下降为 P_L ，产生道德风险问题。为了确保贷款资金有效使用，银行将在这一阶段进行监督，从而使企业的道德风险程度降低至 b 。相比大银行，由于小银行的决策层一般坐落于当地，决策链也更短，这就导致小银行在获取、传递企业信息和甄别经营者行为时更及时有效（林毅夫和李永军，2001；Liberti and Mian, 2009；Berger and Black, 2011），即小银行在监督上具有比较优势。因此，为了降低同一个项目贷款的道德风险，小银行付出的监督成本低于大银行的监督成本。用 C^j 表示银行 j 的监督成本，则 $C^S < C^B$ 。

$t=2$ 期，项目经营结束。如果成功，则企业按贷款合同支付银行利息 $R_i^j F_i$ ，自己获得收益 $(\pi_i - R_i^j) F_i$ ；如果失败，整个项目收益为 0，企业无法支付银行利息，被银行没收抵押物 $A_i^j F_i$ 。

对于项目的总期望净回报率，我们做出如下假定^①：

$$P_H a - r - c_i^j - K^j > 0 > P_L a - r - K^j + b \quad (4)$$

对于风险中性的社会而言，(4)表明，企业经营者认真工作所带来的社会总期望净回报率严格为正，而偷懒所带来的社会总期望净回报率严格为负。因此从整个社会的角度而言，需要促使企业经营者认真工作。

为了分析经营不确定性对企业融资产生的影响，不同于风险中性的社会，我们引入具有常系数风险厌恶偏好的企业和银行。分别用 η_i 和 θ^j 表示企业 i 和银行 j 的风险厌恶程度。针对大小银行对风险的厌恶程度，敬志勇等（2010）实证发现，中国的银行风险厌恶程度与其净资产规模呈现相反关系，银行净资产规模越大，其风险厌恶程度越低。这主要是因为相对大银行来说，小银行的资金来源渠道更少、核心资本更低、分散风险和盈利的方式相对更有限，对风险的接受能力更差，因而厌恶程度更高。因此，我们设定： $\theta^S > \theta^B$ ，并有企业 i 的期望收益最大化问题：

$$\max E f_i^j = E \left\{ P_H \left[-e^{-\eta_i F_i (\pi_i - R_i^j)} \right] + (1 - P_H) \left[-e^{-\eta_i F_i (-A_i^j)} \right] \right\} \quad (5)$$

$$s.t. IC_f: E f_i^j \geq E \left\{ P_L \left[-e^{-\eta_i F_i (\pi_i - R_i^j + b)} \right] + (1 - P_L) \left[-e^{-\eta_i F_i (-A_i^j + b)} \right] \right\} \quad (6)$$

$$IR_f: E f_i^j \geq -e^{-\eta_i(W)} \quad (7)$$

其中， $-e^{-\eta_i F_i (\pi_i - R_i^j)}$ 表示企业经营者认真工作且项目成功后获得的效用， $-e^{-\eta_i F_i (-A_i^j)}$ 表示

^① c_i^j 表示银行 j 在企业 i 贷款上付出的单位资金监督成本， $c_i^j = C^j / F_i$ 。

企业经营者虽然认真工作但项目失败，被银行没收抵押物后的效用。(6)是企业的激励相容约束，表示企业经营者认真工作获得的期望收益不低于偷懒获得的期望收益；(7)是企业的参与约束。企业*i*通过选择贷款的银行*j*、向银行*j*提供的贷款利率 R_i^j 和抵押率 A_i^j 以最大化自己的期望收益 Ef_i^j ^①。

由 IC_f 可以得到企业经营者认真工作时愿意向银行*j*提供的利率和抵押率满足^②：

$$A_i^j \geq R_i^j + \frac{1}{2}\eta_i F_i \sigma_i^2 - a - \frac{1}{\eta_i F_i} \log \left(1 - \frac{e^{\eta_i F_i b} - 1}{e^{\eta_i F_i b} - \frac{P_L}{P_H}} \frac{1}{P_H} \right) \quad (8)$$

对应地，银行*j*贷款给企业*i*的效用：

$$Eb_i^j = P_H \left[-e^{-\theta^j F_i (R_i^j - c_i^j - K^j)} \right] + (1 - P_H) \left[-e^{-\theta^j F_i ((1-\delta)A_i^j - 1 - c_i^j - K^j)} \right] \quad (9)$$

$$s.t. IC_b: Eb_i^j \geq P_L \left[-e^{-\theta^j F_i (R_i^j - K^j)} \right] + (1 - P_L) \left[-e^{-\theta^j F_i ((1-\delta)A_i^j - 1 - K^j)} \right] \quad (10)$$

$$IR_b: Eb_i^j \geq -e^{-\theta^j F_i r} \quad (11)$$

其中， $-e^{-\theta^j F_i (R_i^j - c_i^j - K^j)}$ 表示企业经营者认真执行项目且项目成功后银行获得的效用， $-e^{-\theta^j F_i ((1-\delta)A_i^j - 1 - c_i^j - K^j)}$ 表示虽然企业经营者认真执行项目但项目失败，银行没收企业抵押后获得的效用。 $(1-\delta)$ 刻画了抵押物的变现能力， δ 越大，抵押物的变现能力越低。为了简化分析，我们假设银行进行清算后仍不能完全弥补贷款损失，即 $[(1-\delta)A_i^j - 1] \leq 0$ 。(10)是银行的激励相容约束，它表示银行付出一定成本进行监督以降低企业经营者偷懒的收益对银行来说是有利的；(11)是银行的参与约束。

根据效用函数的性质和项目总期望净回报率的假设，有^③：

$$P_L \left[-e^{-\theta^j F_i (R_i^j - K^j)} \right] + (1 - P_L) \left[-e^{-\theta^j F_i ((1-\delta)A_i^j - 1 - K^j)} \right] < -e^{-\theta^j F_i r} \quad (12)$$

因此由(11)式成立，即可得到银行*j*愿意贷款给企业*i*所要求的抵押率以及利率满足：

$$A_i^j \geq \frac{1}{1-\delta} - \frac{1}{\theta^j F_i (1-\delta)} \log \left(e^{-\theta^j F_i (r + c_i^j + K^j)} - P_H e^{-\theta^j F_i R_i^j} \right) + \frac{1}{\theta^j F_i (1-\delta)} \log (1 - P_H) \quad (13)$$

结合(8)与(13)，并使企业期望收益最大，有：

$$A_i^j = \frac{1}{1-\delta} - \frac{1}{\theta^j F_i (1-\delta)} \log \left(e^{-\theta^j F_i (r + c_i^j + K^j)} - P_H e^{-\theta^j F_i (A_i^j - m_i)} \right) + \frac{1}{\theta^j F_i (1-\delta)} \log (1 - P_H) \quad (14)$$

^① 本文研究的一个重点在于探究引入供应链金融前后企业银行融资的可得性，通过设定企业选择贷款利率和抵押率，并在满足银行以及自身约束的条件下最大化自己的效用，能够得到企业获得银行贷款所需的最低抵押率，即最低融资门槛（可以证明，如果让银行进行最优决策，企业所需提供的抵押率会更高）。相似的决策设定已存在于现有文献中，如张一林等（2019）。

^② (7)中 w 外生给定，它衡量了企业不参与项目时的效用大小，我们设定 w 足够小，使得

$E \left\{ P_L \left[-e^{-\eta_i F_i (\pi_i - R_i^j + b)} \right] + (1 - P_L) \left[-e^{-\eta_i F_i (-A_i^j + b)} \right] \right\} \geq -e^{-\eta_i (w)}$ 总成立，否则的话不需激励或监督，企业经营

者自身就有激励认真工作以避免期望效用低于不经营项目时的效用。

^③ 限于篇幅，证明在此略去，可参见附录 A.1。

$$R_i^j = A_i^j - m_i \quad (15)$$

其中 $m_i = \frac{1}{2}\eta_i F_i \sigma_i^2 - a - \frac{1}{\eta_i F_i} \log \left(1 - \frac{e^{\eta_i F_i b} - 1}{e^{\eta_i F_i b} - \frac{P_L}{P_H}} \frac{1}{P_H} \right)$ 。(14)与(15)刻画了企业 i 向银行 j 贷款需

要提供的抵押率 A_i^j 和利率 R_i^j 。

企业 i 向银行 j 融资并经营项目获得的期望收益：

$$Ef_i^j = -P_H e^{\eta_i F_i \left(A_i^j + \frac{1}{\eta_i F_i} \log \left(1 - \frac{e^{\eta_i F_i b} - 1}{e^{\eta_i F_i b} - \frac{P_L}{P_H}} \frac{1}{P_H} \right) \right)} - (1 - P_H) \left(e^{\eta_i F_i A_i^j} \right) \quad (16)$$

对应银行的期望收益：

$$Eb_i^j = -e^{-\theta^j F_i r} \quad (17)$$

命题 1: 对融资需求为 F_i 的企业，当它的自有抵押率 $A_i < \underline{A}_i$ 时，企业无法向任何银行贷款；当 $\underline{A}_i \leq A_i < \overline{A}_i$ 时，企业或者只能向小银行贷款，或者只能向大银行贷款；当 $A_i \geq \overline{A}_i$ 时，企业既可以向小银行贷款，又可以向大银行贷款。

其中：

$$\begin{aligned} \overline{A}_i &= \max_j \frac{1}{1 - \delta} - \frac{1}{\theta^j F_i (1 - \delta)} \log \left(e^{-\theta^j F_i (r + c_i^j + K^j)} - P_H e^{-\theta^j F_i (A_i^j - m_i)} \right) \\ &\quad + \frac{1}{\theta^j F_i (1 - \delta)} \log (1 - P_H) \\ \underline{A}_i &= \min_j \frac{1}{1 - \delta} - \frac{1}{\theta^j F_i (1 - \delta)} \log \left(e^{-\theta^j F_i (r + c_i^j + K^j)} - P_H e^{-\theta^j F_i (A_i^j - m_i)} \right) \\ &\quad + \frac{1}{\theta^j F_i (1 - \delta)} \log (1 - P_H) \end{aligned}$$

$$m_i = \frac{1}{2}\eta_i F_i \sigma_i^2 - a - \frac{1}{\eta_i F_i} \log \left(1 - \frac{e^{\eta_i F_i b} - 1}{e^{\eta_i F_i b} - \frac{P_L}{P_H}} \frac{1}{P_H} \right)。$$

命题 1 表明，只有当企业的自有抵押率达到 \underline{A}_i 时，才能获得银行贷款，故把 \underline{A}_i 称为企业获得银行贷款所需的最低抵押率。不同企业获得银行贷款所需的最低抵押率不同，其大小取决于企业融资规模 F_i 、项目收益不确定性 σ_i^2 以及大、小银行风险厌恶程度 θ^j 、监督成本 C^j 和单位资金使用成本 K^j 。

结合(14)、(15)、(16)，有引理 1、2、3。

引理 1^①:

1.1 银行 j 每笔贷款的监督成本越高，企业 i 向该银行融资的抵押率越高，企业需要支付的利率越高，企业的期望收益越低，即 $\frac{\partial A_i^j}{\partial C^j} > 0$ ， $\frac{\partial R_i^j}{\partial C^j} > 0$ ， $\frac{\partial Ef_i^j}{\partial C^j} < 0$ ；

1.2 银行 j 的单位资金使用成本越高，企业 i 向该银行融资的抵押率越高，企业需要支付的利率越高，企业的期望收益越低，即 $\frac{\partial A_i^j}{\partial K^j} > 0$ ， $\frac{\partial R_i^j}{\partial K^j} > 0$ ， $\frac{\partial Ef_i^j}{\partial K^j} < 0$ ；

1.3 银行 j 的风险厌恶程度越高，企业 i 向该银行融资的抵押率越高，企业需要支付的

^① 证明见附录 A.2。

利率越高，企业的期望收益越低，即 $\frac{\partial A_i^j}{\partial \theta^j} > 0$ ， $\frac{\partial R_i^j}{\partial \theta^j} > 0$ ， $\frac{\partial Ef_i^j}{\partial \theta^j} < 0$ 。

引理 1 刻画了银行监督能力、资金使用成本以及风险厌恶程度变化对企业融资造成的影响，它表明，如果能够通过某种机制改变银行的特性，那么就有可能使向这家银行贷款的企业的融资状况得到改善。此外，除了给出银行自身特性纵向变化的影响，引理 1 还暗含了不同规模银行三种特性差异对企业融资渠道选择影响的横向比较。

其中，引理 1.1 揭示了大、小银行由于监督能力的不同而导致企业融资选择的不同。不考虑大小银行在风险厌恶、单位资金使用成本上的差别，在面对相同程度的道德风险时，由于小银行监督成本更低，企业向小银行申请贷款所提供的抵押率、利率会更低，企业融资后获取的期望收益会更大，因此一个自有抵押率 A_i 满足 $A_i \geq \bar{A}_i$ 的企业此时会选择向小银行贷款。

引理 1.2 与引理 1.1 相似，不考虑大小银行在风险厌恶、监督能力上的差别，由于大银行的单位资金使用成本更低，企业向大银行贷款所提供的抵押率、利率会更低，获取的期望收益会更大，因此一个自有抵押率 A_i 满足 $A_i \geq \bar{A}_i$ 的企业此时会选择向大银行贷款。

引理 1.3 表明，不考虑大小银行在监督能力、单位资金使用成本上的差别，由于大银行的风险厌恶程度更低，企业向大银行贷款所提供的抵押率、利率会比小银行的更低，获取的期望收益会更大，因此一个自有抵押率 A_i 满足 $A_i \geq \bar{A}_i$ 的企业此时会选择向大银行贷款。

图 2 至图 4^① 展现了引理 1 的结果。

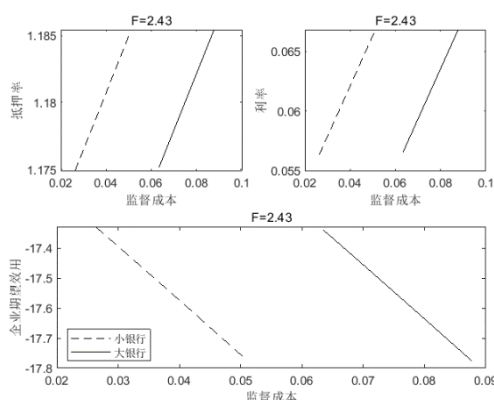


图 2 企业融资与银行监督成本

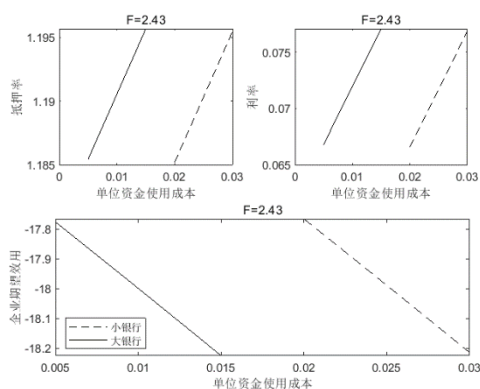


图 3 企业融资与银行单位资金使用成本

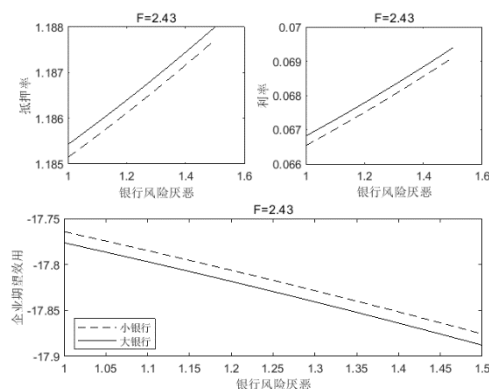


图 4 企业融资与银行风险厌恶

引理 2^②:

2.1 企业 i 项目收益的不确定性 σ_i^2 越大，该企业向银行 j 融资的抵押率越高，企业的期望收益越低，即 $\frac{\partial A_i^j}{\partial \sigma_i^2} > 0$ ， $\frac{\partial Ef_i^j}{\partial \sigma_i^2} < 0$ ；

^① 数值模拟由 MATLAB 完成，限于篇幅，具体参数值在此略去，可参见附录 B。

^② 证明见附录 A.3。

2.2 企业 i 对风险的厌恶程度 η_i 越高, 该企业向银行 j 融资的抵押率越高, 即 $\frac{\partial A_i^j}{\partial \eta_i} > 0$ 。

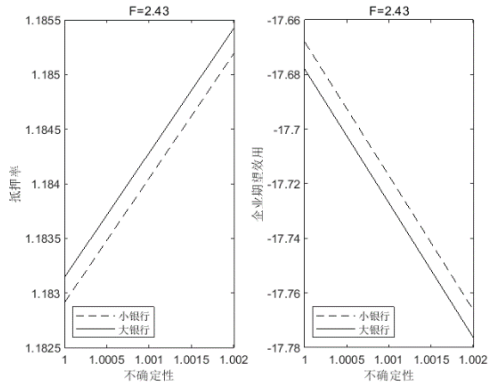


图 5 企业融资与项目收益不确定性

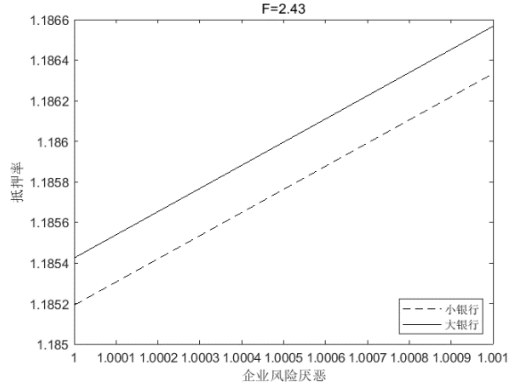


图 6 企业融资与企业风险厌恶

图 5 展现了引理 2.1 的结果。企业项目收益的不确定性越大, 意味着项目的等价收益下降, 为了促使企业经营者认真工作, 支付给银行的利率会有减少的趋势, 而为了保证银行的参与约束, 银行会要求更高的抵押率, 最终导致企业的期望收益降低。

图 6 展现了引理 2.2 的结果。之所以有这样的结果, 是因为在项目收益分布不变的情况下, 如果企业风险厌恶程度增大, 那么企业的期望收益会有下降的趋势, 此时企业为了保证自身的激励, 它愿意支付的利率和愿意提供的抵押率都会有减少的趋势, 然而为了获得银行贷款, 企业支付的利率和提供的抵押率又必须使银行获得的收益不低于它将该笔资金投放到其他领域所得到的收益, 最终, 企业不得不通过提高抵押率的方式以应对这种变化。

引理 3^①:

3.1 企业 i 向银行 j 融资的抵押率关于项目收益不确定性的边际变化随银行 j 风险厌恶程度的增加而减少, 即 $\frac{\partial^2 A_i^j}{\partial \sigma_i^2 \partial \theta^j} < 0$;

3.2 企业 i 向银行 j 融资的抵押率关于项目收益不确定性的边际变化随企业 i 风险厌恶程度的增加而增加, 即 $\frac{\partial^2 A_i^j}{\partial \sigma_i^2 \partial \eta_i} > 0$ 。

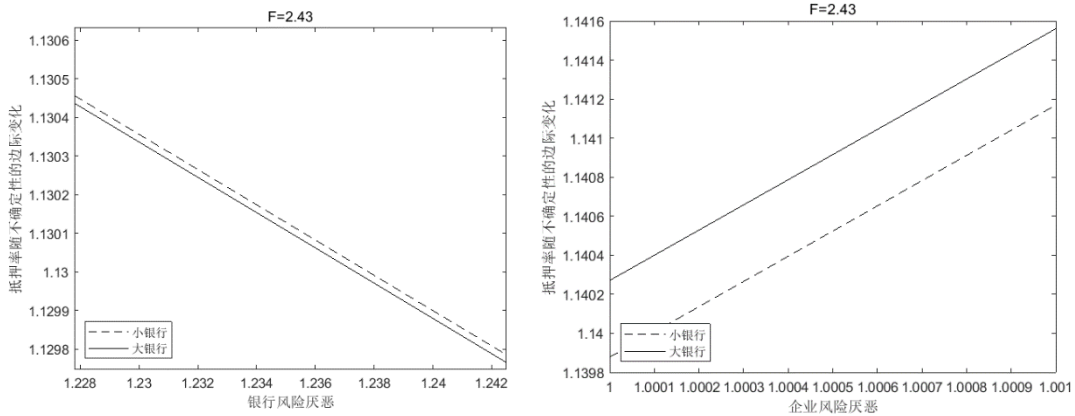


图 7 抵押率随项目收益不确定性的边际变化与银行、企业风险厌恶

图 7 直观地展现了引理 3。根据引理 2.1, 当企业融资项目收益不确定性增加时, 大小银行的贷款抵押率都会增加, 而引理 3.1 则进一步表明, 相比起风险厌恶程度较高的小银行, 风险厌恶程度较低的大银行的抵押率会增加得更多; 而当企业融资项目收益不确定性减少时, 大小银行的贷款抵押率都会减小, 相比小银行, 风险厌恶程度更低的大银行的贷款抵押

^① 证明见附录 A.4。

率会减少得更多。引理 3.2 也有类似的结论：当企业项目收益不确定性增加时，其风险厌恶程度越高，向大、小银行获取贷款所需的抵押率增加得越多；而当企业项目收益不确定性减少时，其风险厌恶程度越高，向大、小银行获取贷款所需的抵押率减少得越多。

四 三种供应链金融模式与企业融资

以往理论研究中已有部分文献针对供应链金融的特定模式进行了分析，如 Yan and Sun (2013) 对有限信贷条件下的存货融资模式进行了探究，Yang and Birge (2018) 分析了贸易信贷模式的风险分担作用，龚强等 (2021) 对传统存货融资模式与区块链下的存货融资模式进行了对比，但是，完整地对比供应链金融的三种典型模式进行理论分析的研究还比较缺乏。基于此，这一部分我们完整介绍应收账款融资、预付账款融资以及存货融资三种典型供应链金融模式，从而为供应链金融的实践提供较为完整的理论支持。

(一) 应收账款融资

作为供应链金融的典型模式之一，应收账款融资主要服务的是处于核心企业上游的中小企业。由于下游核心企业的强势地位，中小企业在与核心企业日常交易中，往往存有大量未到期的应收账款。借助应收账款融资，上游中小企业在有融资需求时可以凭银行认可的下游核心企业开具的应收账款凭证作为质押，向银行借款。实际上，应收账款融资加深了中小企业与核心企业的供应链合作关系，因此能一定程度上提高中小企业经营的稳定性，结合实证部分供应链金融能够降低中小企业经营不确定性这一结论，应收账款融资中企业经营不确定性 σ_i^2 将减小，记减小后的值为 $\sigma_i'^2$ 。

这样，应收账款融资下企业 i 向银行 j 贷款所需的抵押率：

$$A_i^j = \frac{1}{1-\delta} - \frac{1}{\theta^j F_i (1-\delta)} \log \left(e^{-\theta^j F_i (r+c_i^j+K^j)} - P_H e^{-\theta^j F_i (A_i^j - m_i')} \right) + \frac{1}{\theta^j F_i (1-\delta)} \log (1 - P_H) \quad (18)$$

$$\text{其中， } m_i' = \frac{1}{2} \eta_i F_i \sigma_i'^2 - a - \frac{1}{\eta_i F_i} \log \left(1 - \frac{e^{\eta_i F_i b} - 1}{e^{\eta_i F_i b} - \frac{P_L}{P_H}} \frac{1}{P_H} \right)。$$

借助引理 2.1 可知，应收账款融资通过降低企业经营的不确定性，降低了企业 i 向银行 j 贷款所需的抵押率，结合命题 1，对于未采取供应链金融时一些无法获得银行贷款的企业来说，应收账款融资能够提高这部分企业整体贷款的可得性；对于未采取供应链金融时那些已经可以获得银行贷款的企业来说，应收账款融资可以使这些企业获得更高水平的期望收益。

(二) 预付账款融资

与应收账款融资刚好相反，预付账款融资服务的是供应链下游的中小企业。面对上游核心企业，它们往往需要预付资金购买上游核心企业的产品作为投入才能生产，当缺乏这部分资金时就产生了融资需求。预付账款模式针对的就是这种情况。它的具体流程为：首先，下游中小企业向银行申请预付账款融资服务，并与核心企业、银行以及银行指定或认可的第三方物流签订协议；然后银行以贷款的形式替下游企业向核心企业支付这笔预付款，核心企业再将对应货物交付第三方物流，由物流企业负责货物发出与监督；货物一般分批发出，中小企业首先获取一部分货物，然后进行生产经营活动，之后每归还一部分贷款及利息（或以保证金的形式），银行再通知物流发放下一批货物，当中小企业无法归还贷款时，银行将要求核心企业按照协议回购剩余在第三方物流仓库内还未被使用的货物，所得金额用于弥补贷款。根据这一流程，预付账款融资有以下特点：

(1) 如果项目成功，上游核心企业获得收益 F_i ，如果失败，下游中小企业无法归还贷款和利息，核心企业按协议回购货物，假设下游企业已用的货物比例为 s ；

(2) 与应收账款融资类似，通过预付账款融资，中小企业依托核心企业，不仅获得了

核心企业的回购担保，而且加深了与核心企业、第三方物流企业的供应链合作关系，因此可以预见，中小企业经营的稳定性会得到提高，即 σ_i^2 减小，记减小后的值为 $\sigma_i'^2$ ；

(3) 相比应收账款融资，预付账款融资还增加了第三方物流，使得中小企业用贷款购买来的货物在物流的监督下流动，因此，在预付账款融资中，第三方物流一定程度上代替了银行部分监督的职能。因此我们设定，银行 j 联合第三方物流监督企业 i 的融资项目，并向物流企业支付费用 $I(\beta_i^j)$ ， β_i^j 表示物流企业为银行提供的替代监督服务水平。因此，银行为了监督而支付的总成本变为 $(1-\beta_i^j)C^j + I(\beta_i^j)$ 。相比银行，第三方物流全程真实地参与了中小企业 i 的融资以及生产经营活动，因此监督效率更高，故设定 $I(\beta_i^j) < \beta_i^j C^j$ 。进一步地，如果银行有更多监督被替代，那么银行付出的总监督成本就更低，即 β_i^j 越大， $(1-\beta_i^j)C^j + I(\beta_i^j)$ 越小。对于物流企业，提供监督同样有成本 $C_m(\beta_i^j)$ ，我们设定 $C_m(\beta_i^j)$ 与一般的成本函数性质相同，即 $\frac{\partial C_m(\beta_i^j)}{\partial \beta_i^j} > 0$ ， $\frac{\partial^2 C_m(\beta_i^j)}{\partial \beta_i^{j2}} > 0$ 。最后，物流企业有储存货物的成本，假设该储存成本关于储存物价值边际不变，边际成本记为 C_k 。

物流企业按照利润最大化原则确定提供的替代监督服务水平 β_i^j （我们设定 $I(\beta_i^j)$ 与一般的收益函数性质相同，即 $\frac{\partial I(\beta_i^j)}{\partial \beta_i^j} > 0$ ， $\frac{\partial^2 I(\beta_i^j)}{\partial \beta_i^{j2}} < 0$ ）：

$$\max_{\beta_i^j} E_i = I(\beta_i^j) - C_m(\beta_i^j) - C_k F_i \quad (19)$$

此时银行的期望收益问题：

$$Eb''_i = P_H \left[-e^{-\theta^j F_i (R''_i - c_i^j - K^j)} \right] + (1 - P_H) \left[-e^{-\theta^j F_i ((1-\delta)A''_i - s - c_i^j - K^j)} \right] \quad (20)$$

$$s.t. IC''_b: Eb''_i \geq P_L \left[-e^{-\theta^j F_i (R''_i - K^j)} \right] + (1 - P_L) \left[-e^{-\theta^j F_i ((1-\delta)A''_i - s - K^j)} \right] \quad (21)$$

$$IR''_b: Eb''_i \geq -e^{-\theta^j F_i r} \quad (22)$$

预付账款模式下企业 i 向银行 j 贷款的抵押率：

$$A''_i = \frac{s}{1-\delta} - \frac{1}{\theta^j F_i (1-\delta)} \log \left(e^{-\theta^j F_i (r + c_i^j + K^j)} - P_H e^{-\theta^j F_i (A''_i - m''_i)} \right) + \frac{1}{\theta^j F_i (1-\delta)} \log (1 - P_H) \quad (23)$$

$$\text{其中， } c_i^j = \frac{[(1-\beta_i^j)C^j + I(\beta_i^j)]}{F_i} = c_i^j + \frac{[I(\beta_i^j) - \beta_i^j C^j]}{F_i}, \quad \beta_i^j = \arg \max_{\beta_i^j} E_i,$$

$$m''_i = \frac{1}{2} \eta_i F_i \sigma_i'^2 - a - \frac{1}{\eta_i F_i} \log \left(1 - \frac{e^{\eta_i F_i b} - 1}{e^{\eta_i F_i b} - \frac{P_L}{P_H}} \frac{1}{P_H} \right).$$

借助引理 1.1、2.1 可知，预付账款融资通过降低企业经营的不确定性、减少银行为监督支付的成本、降低企业违约后的贷款损失，从而降低了企业 i 向大、小银行贷款所需的抵押率，并且能够提高未采取供应链金融时那些已经可以获得银行贷款的企业的期望收益。

(三) 存货融资

存货融资同样引入了核心企业和第三方物流。在存货融资中，银行与中小企业、核心企业以及获得银行认可或指定的第三方物流签订协议，然后中小企业把大量存货作为质押物存

放在第三方物流企业，之后在物流的监督下流动。中小企业归还一批贷款，银行就会通知第三方物流放出一批存货给中小企业。与预付账款融资相似，存货融资同样加深了中小企业与核心企业、第三方物流企业的合作，因此，中小企业项目的不确定性减小。此外，第三方物流的引入，也能够一定程度上帮助银行进行更有效的监督。值得注意的是，在预付账款融资中，物流企业储存监督的是中小企业贷款购买的货物，而在存货融资模式下，则是中小企业提供的质押物，故物流企业的储存成本有差异。综上，存货融资的特点如下：

(1) 通过使用存货融资，中小企业加深了与核心企业、第三方物流企业间的供应链合作关系，因此经营的不确定性减小，即 σ_i^2 减小为 $\sigma_i^{\prime\prime 2}$ ；

(2) 银行支付费用请第三方物流在一定程度上替代自己部分监督，相应第三方物流的决策问题为：

$$\max_{\beta_i^j} E'_i = I(\beta_i^j) - C_m(\beta_i^j) - C_k A_i^{\prime\prime j} F_i \quad (24)$$

根据这些变动，存货融资下，企业 i 向银行 j 贷款的抵押率：

$$A_i^{\prime\prime j} = \frac{1}{1-\delta} - \frac{1}{\theta^j F_i (1-\delta)} \log \left(e^{-\theta^j F_i (r+c_i^{\prime\prime j}+K^j)} - P_H e^{-\theta^j F_i (A_i^{\prime\prime j}-m_i^{\prime\prime})} \right) + \frac{1}{\theta^j F_i (1-\delta)} \log (1-P_H) \quad (25)$$

$$\text{其中， } c_i^{\prime\prime j} = \frac{[(1-\beta_i^j)C^j + I(\beta_i^j)]}{F_i} = c_i^j + \frac{[I(\beta_i^j) - \beta_i^j C^j]}{F_i}, \quad \beta_i^j = \arg \max_{\beta_i^j} E'_i,$$

$$m_i^{\prime\prime} = \frac{1}{2} \eta_i F_i \sigma_i^{\prime\prime 2} - a - \frac{1}{\eta_i F_i} \log \left(1 - \frac{e^{\eta_i F_i b} - 1}{e^{\eta_i F_i b} - \frac{P_L}{P_H}} \frac{1}{P_H} \right)。$$

与前两种模式相似，存货融资降低了企业 i 向大、小银行贷款时所需的抵押率，并且能够提高未采取供应链金融时那些已经可以获得银行贷款的企业的期望收益。

综上，有：

命题 2： 给定产业内各企业融资规模、项目收益不确定性以及企业自有抵押率的分布，供应链金融的三种模式——应收账款融资、预付账款融资与存货融资，能够降低产业内中小企业获得银行贷款所需的最低抵押率，使部分原本无法获得银行融资的中小企业可以获得贷款，同时使原本已经能够获得银行融资的中小企业的期望收益水平得到提高。

至此，我们完整探究了供应链金融三种典型模式，既分析了三种模式通过降低企业经营不确定性从而改善企业融资状况这一共性特点，也指出了各自运行机制的差异。命题 2 的结论表明，尽管三种模式的适用对象与作用机制不完全相同，但它们都有助于改善企业的融资状况。这一结论的得出，为使用供应链金融三种模式缓解企业融资困境、提高企业融资绩效提供了较为完整的理论支持。另外，特别值得注意的是，在这一部分，我们从贷后监督的角度正式建立起了对预付账款融资、存货融资中独有的第三方物流决策的理论分析，而第五部分的分析进一步表明，第三方物流的监督不仅是预付账款融资、存货融资在帮助企业融资上区别于应收账款融资的机制，也是造成预付账款融资与存货融资在推动银行业结构变迁程度上不一致的原因。

五 最优融资渠道与最适宜银行业结构

第四部分探究了供应链金融三种典型模式对作为借方的特定中小企业 i 向特定银行 j 融资的作用机制与作用效果，这一部分我们转换视角，探究供应链金融如何影响整个产业内中小企业对作为贷方的不同银行的需求——产业内最适宜银行业结构。

首先，考虑企业 i 对不同银行的选择问题——企业最优融资渠道。(16)给出了未采取供应链金融时企业 i 向银行 j 融资的期望收益，结合命题 1 可以发现，对企业 i ，如果它的自有抵押率使得它既能向大银行贷款，又能向小银行贷款，那么它最终会选择使自身期望收益最大化的贷款对象，即最优融资渠道。根据引理 1，最优融资渠道的确定，依赖于企业项

目融资规模、项目收益不确定性以及大小银行在监督能力、资金使用成本、风险厌恶程度上的差异。特别地，就项目融资规模而言，对于融资规模较小的中小企业，大银行在资金使用上相对小银行的比较优势并不能抵消小银行相对大银行在监督上的比较优势，因此，小银行是这些中小企业的最优融资渠道；相反，对于融资规模较大的中小企业而言，大银行在资金使用上相对小银行的比较优势会超过小银行相对大银行在监督上的比较优势，并且这种差距会随着企业融资规模的增大而增大，因此，大银行是这些中小企业的最优融资渠道。

故有：

命题 3： 如果企业既能向大银行贷款，又能向小银行贷款，那么企业会根据期望收益最大化确定自己的最优融资渠道；给定大小银行在监督能力、资金使用成本、风险厌恶程度上的相对差异和企业项目经营的不确定性，最优融资渠道的确定，取决于企业本身的融资规模，当融资规模小于某个特定值时，小银行会成为企业的最优融资渠道，当融资规模大于某个特定值时，大银行会成为企业的最优融资渠道。

图 8 直观展现了命题 3。竖线前的企业融资规模较小，它们更倾向小银行融资，竖线后的企业融资规模较大，它们更倾向大银行融资。

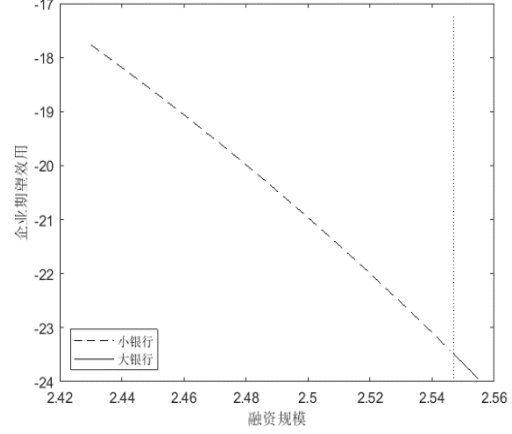


图 8 企业最优融资渠道：未采取供应链金融

结合上述分析与命题 1 可知，给定产业内所有企业的自有抵押率、企业项目的融资规模、项目收益的不确定性的分布后，我们能够得到三类企业：第一类是没有办法获得银行融资的企业；第二类是只能向小银行或只能向大银行融资的企业；第三类是大银行和小银行都可以获得融资的企业。对于最后这类企业，它们会选择自己的最优融资渠道。最终，第二类企业与第三类企业的融资规模和融资渠道共同决定了整个产业对大小银行贷款的绝对需求以及相对比例，即产业内最适宜银行业结构。

命题 4： 给定大小银行在监督能力、资金使用成本、风险厌恶程度上的相对大小，产业内各企业融资规模、项目收益不确定性以及企业自有抵押率的分布决定了产业内最适宜银行业结构。

第四部分发现，三种供应链金融模式都会减少项目收益的不确定性，并由此带来银行贷款抵押率的下降。根据引理 3.1，当企业项目收益不确定性减小时，风险厌恶程度较低的大银行的反应要高于小银行——其抵押率下降的幅度更高。另外，预付账款融资和存货融资引入了第三方物流监督，减少了大小银行的总监督成本。为了进一步分析在引入第三方物流后大小银行在总监督成本上的变化，下面分别求解两种模式下第三方物流企业提供的替代监督服务水平 β_i^j 、 β_i^j 满足的一阶条件。

预付账款融资：

$$I'(\beta_i^j) - C_m'(\beta_i^j) = 0 \quad (26)$$

存货融资：

$$I'(\beta_i^j) - C_m'(\beta_i^j) - \frac{C_k}{1 - \delta + \delta P_H e^{\theta^j F_i (m''_i - A''_i + r + c''_i + K^j)}} [I'(\beta_i^j) - C^j] = 0 \quad (27)$$

根据 $I(\beta_i^j)$ 、 $C_m(\beta_i^j)$ 的设定，有：

引理 4：

4.1 预付账款融资下，第三方物流企业为大小银行提供相同水平的替代监督服务，即 $\beta_i^S = \beta_i^B$ ；

4.2 存货融资模式下，第三方物流企业会为大银行提供更高水平的替代监督服务，即 $\beta_i^B > \beta_i^S$ 。

引入第三方物流的监督后，银行 j 总的监督成本下降幅度为 $\beta_i^j C^j - I(\beta_i^j)$ 。由于 $C^S < C^B$ ，因此在预付账款融资模式下，大银行总的监督成本下降更多；而在存货融资模式下， $\beta_i^S < \beta_i^B$ ，根据对 $\beta_i^j C^j - I(\beta_i^j)$ 的设定，大银行总的监督成本会进一步下降。因此，通过引入第三方物流监督，小银行相对大银行在监督上的比较优势被削弱了。图 9 至图 11 展现了三种供应链金融模式下不同融资规模企业最优融资渠道的变化。可以发现，在引入应收账款融资、预付账款融资和存货融资后，许多企业的最优融资渠道都由小银行变为了大银行。

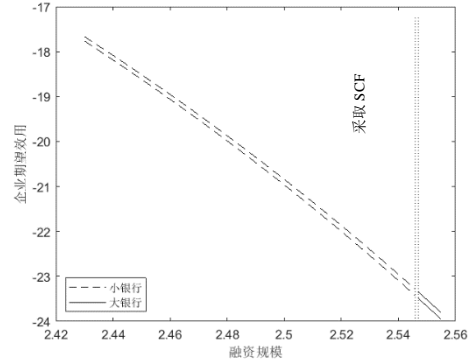


图 9 企业最优融资渠道：应收账款融资

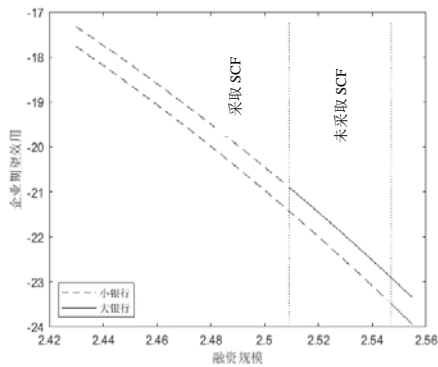


图 10 企业最优融资渠道：预付账款融资

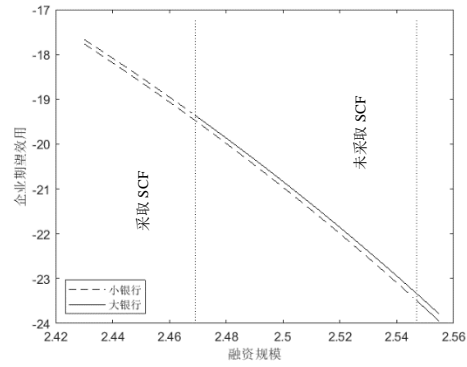


图 11 企业最优融资渠道：存货融资

综合上述分析不难发现，一方面，三种供应链金融模式均通过减少企业经营的不确定性给大银行的贷款抵押率带来了更高层次的减少；另一方面，预付账款融资和存货融资还通过第三方物流的替代监督削弱了小银行相对大银行的比较优势，从而更加推动了企业整体对大银行贷款需求的增加，而相比预付账款融资，由于存货融资模式中第三方物流会为大银行提供更高水平的替代监督服务，这种推动作用会更加明显。在不考虑采取供应链金融之后才能获得融资的那些企业的情况下，可以得出：供应链金融三种模式的引入，会推动整个企业分布对大银行贷款需求的增加，对小银行贷款需求的减少，从而带动最适宜银行业结构朝大银行占比更多的方向变迁，且存货融资的推动程度大于预付账款融资，预付账款融资的推动程度大于应收账款融资，图 9 至图 11 也展现出了这一结果。

故有：

命题 5： 给定产业内各企业的融资规模、项目收益不确定性、企业自有抵押率的分布，以及大小银行在监督能力、资金使用成本、风险厌恶程度上的差异，供应链金融的引入能够改变产业的最适宜银行业结构。特别地，就未采取供应链金融时既能向大银行贷款、又能向小银行贷款的这部分企业的贷款需求而言，供应链金融能够使这部分企业构成的贷款需求朝大银行更多、小银行减少的方向变化，即一定程度上促成产业内最适宜银行业结构的升级，其中，存货融资的促进程度大于预付账款融资，预付账款融资的促进程度大于应收账款融资。

命题 5 的结论，为推动现有银行业结构与最适宜银行业结构相互匹配提供了全新的思路，具有重要的政策意义。在推动现有银行业结构与最适宜银行业结构相互匹配的过程中，一种方式是增设中小银行机构以达到最适宜银行业结构，这种方式直接但需要大量资金和建设周期，而供应链金融能够改变企业最优融资渠道和最适宜银行业结构，这一特点为推动这种相互匹配提供了新途径。通过供应链金融，即使不改变现有银行业结构，也能推动其与最适宜银行业结构的相互匹配，既能使现有金融资源得到充分发挥，又极大地节约了资金与时间，同时也为未来在面对产业结构变迁时的金融结构调整留下了灵活空间。

六 结论与政策性建议

供应链金融为助力中小企业生产经营、缓解中小企业融资困境提供了新机遇和政策选择。一方面，疫情和全球经济形势下行给中小企业的经营带来了许多不确定性，另一方面，国际局势的极端变化以及当前我国“双循环”发展的需要，对供应链的建设提出了新要求。供应链金融结合供应链与企业融资，为新时期下缓解中小企业融资难、推动供应链上各企业协调发展提供了有效的途径。本文在已有研究的基础上，首先运用实证方法，通过建立工具变量缓解已有研究中供应链金融指标的内生性，对供应链金融缓解中小企业融资约束的作用以及供应链金融对中小企业经营不确定性的影响进行了检验；然后构建理论模型，引入异质性企业和银行，对三种典型的供应链金融模式缓解中小企业融资约束的作用机制和效果进行了系统分析，并在此基础上对供应链金融如何影响中小企业最优融资渠道和产业内最适宜银行业结构进行了探究，得到的主要结论如下：

第一，供应链金融的三种模式——应收账款融资、预付账款融资以及存货融资，都能加深中小企业与其所在供应链中各方企业的合作关系，在一定程度上减少了中小企业经营的不确定性，有助于缓解中小企业的融资约束；此外，预付账款融资和存货融资引入了第三方物流，用更加有效的第三方物流监督替代了部分银行监督，最终减少了银行总的监督成本，因此降低了中小企业贷款所需的抵押率，进一步缓解了中小企业融资难的问题。

第二，企业融资规模、经营项目不确定性、自有抵押品价值以及大小银行风险厌恶程度、监督能力、资金使用成本共同决定了企业贷款的可得性和最优融资渠道。一般地，当企业经营项目不确定性给定时，融资规模较大的企业会偏向大银行贷款，而融资规模较小的企业会偏向小银行贷款。供应链金融能够降低企业经营项目的不确定性，使大银行抵押率下降的幅度大于小银行抵押率下降的幅度，从而导致未采取供应链金融时那些既能向大银行贷款、又能向小银行贷款的企业中有更多企业转向大银行贷款，而预付账款融资与存货融资更削弱了小银行相对大银行在监督上的比较优势，进一步导致大银行抵押率下降幅度超过小银行，从而加大了这种变化。

第三，给定大小银行在风险厌恶程度、监督能力、资金使用成本上的差异，产业内所有企业的融资规模、经营项目的不确定性以及自有抵押品价值的分布决定了该产业的最适宜银行业结构。供应链金融的引入，削弱了小银行对那些未采取供应链金融时就既能向大银行贷款、又能向小银行贷款的企业吸引力，从而导致这里面的部分企业由小银行贷款转向大银行贷款，最终促使这部分企业所构成的贷款需求结构朝着大银行贷款需求更多、小银行贷款需求更少的方向变迁。

上述结论为运用供应链金融提供了支持：

第一，供应链金融一方面能有效缓解中小企业融资约束，另一方面能加强供应链上各企业的合作以提高供应链整体的稳定性，在全球经济发展缓慢、企业经营不确定性因素增多的背景下，银行等金融机构应充分利用供应链金融这一工具，为中小企业稳定资金流、持续健康发展提供帮助。

第二，由于不同供应链金融模式适用对象、作用机制以及大小银行的差异，在开展供应链金融时，银行应事先对当地企业的产业类型、融资需求和企业供应链结构等情况进行全面了解，并依据自己机构的特点和优势，有针对性地选择供应链金融模式，更精准地为企业提供供应链金融服务，以避免盲目开展全类型供应链金融可能导致的低效和风险。

第三，基于供应链金融三种典型模式对最适宜银行业结构的变迁作用，政府部门可以前瞻性地制定政策，鼓励、引导和推动供应链金融的发展，从而为实现现有银行业结构与最适宜银行业结构相互匹配、推进金融结构优化改革、化解金融风险、促进金融与实体协调高效发展助力。

参考文献：

边文龙、沈艳、沈明高（2017）：《银行业竞争度、政策激励与中小企业贷款——来自 14 省 90 县金融机构的证据》，《金融研究》第 1 期。

董振宁、王卓、周雪君（2018）：《限制贷款最低额度的零售商融资与订货决策》，《山东大学学报（理学版）》第 5 期。

龚强、班铭媛、张一林（2021）：《区块链、企业数字化与供应链金融创新》，《管理世界》

第 2 期。

龚强、张一林、林毅夫 (2014):《产业结构、风险特性与最优金融结构》,《经济研究》第 4 期。

胡跃飞、黄少卿 (2009):《供应链金融:背景、创新与概念界定》,《金融研究》第 8 期。

敬志勇、孔东民、厉吉斌 (2010):《风险厌恶测定与我国银行治理效率的实证研究》,《当代经济科学》第 6 期。

李广子、熊德华、刘力 (2016):《中小银行发展如何影响中小企业融资?——兼析产生影响的多重中介效应》,《金融研究》第 12 期。

李涵、吴雨、邱伟松、甘犁 (2020):《新冠肺炎疫情对我国中小企业的影 响:阶段性报告》,《中国科学基金》第 6 期。

刘可、缪宏伟 (2013):《供应链金融发展与中小企业融资——基于制造业中小上市公司的实证分析》,《金融论坛》第 1 期。

李琳、刘凤委、卢文彬 (2009):《基于公司业绩波动性的股权制衡治理效应研究》,《管理世界》第 5 期。

林毅夫、李永军 (2001):《中小金融机构发展与中小企业融资》,《经济研究》第 1 期。

林毅夫、孙希芳、姜烨 (2009):《经济发展中的最优金融结构理论初探》,《经济研究》第 8 期。

连玉君、苏治、丁志国 (2008):《现金-现金流敏感性能检验融资约束假说吗?》,《统计研究》第 10 期。

李志赞 (2002):《银行结构与中小企业融资》,《经济研究》第 6 期。

马利军、葛羊亮、薛巍立、田歆 (2015):《不确定环境下损失厌恶零售商的提前支付决策》,《系统工程理论与实践》第 2 期。

宋华、黄千员、杨雨东 (2021):《金融导向和供应链导向的供应链金融对企业绩效的影响》,《管理学报》第 5 期。

宋华、卢强、喻开 (2017):《供应链金融与银行借贷影响中小企业融资绩效的对比研究》,《管理学报》第 6 期。

王霄、张捷 (2003):《银行信贷配给与中小企业贷款——一个内生抵押品和企业规模的理论模型》,《经济研究》第 7 期。

王勇 (2021):《“十四五”时期中国产业升级的新机遇与新挑战:新结构经济学的视角》,《国际经济评论》第 1 期。

姚王信、夏娟、孙婷婷 (2017):《供应链金融视角下科技型中小企业融资约束及其缓解研究》,《科技进步与对策》第 4 期。

姚耀军、董钢锋 (2015):《中小企业融资约束缓解:金融发展水平重要抑或金融结构重要?——来自中小企业板上市公司的经验证据》,《金融研究》第 4 期。

杨子荣 (2019):《企业盈利能力、金融竞争程度与最优金融结构》,《世界经济》第 6 期。

杨子荣、王勇 (2018):《新结构金融学理论与应用》,《金融博览》第 5 期。

杨子荣、张鹏杨 (2018):《金融结构、产业结构与经济增长——基于新结构金融学视角的实证检验》,《经济学(季刊)》第 2 期。

中国社会科学院工业经济研究所课题组、张其仔 (2021):《提升产业链供应链现代化水平路径研究》,《中国工业经济》第 2 期。

张伟斌、刘可 (2012):《供应链金融发展能降低中小企业融资约束吗?——基于中小上市公司的实证分析》,《经济科学》第 3 期。

张晓玫、潘玲 (2013):《我国银行业市场结构与中小企业关系型贷款》,《金融研究》第 6 期。

曾雪云、陆正飞 (2016):《盈余管理信息风险、业绩波动与审计意见——投资者如何逃离有重大盈余管理嫌疑的上市公司?》,《财经研究》第 8 期。

张一林、林毅夫、龚强 (2019):《企业规模、银行规模与最优银行业结构——基于新结构经济学的视角》,《管理世界》第 3 期。

Almeida, H.; Campello, M. and Weisbach, M. S. “The Cash Flow Sensitivity of Cash.” *The Journal of Finance*, 2004, 59(4), pp.1777-1804.

Arellano, M. and Bond, S. “Some Tests of Specification for Panel Data - MONTE-CARLO

Evidence and An Application to Employment Equations.” *Review of Economic Studies*, 1991, 58(2) , pp.277-297.

Berger, A. N. and Black, L. K. “Bank Size, Lending Technologies and Small Business Finance.” *Journal of Banking and Finance*, 2011, 35(3), pp.724-735.

Berger, A. N. and Udell, G. F. “Relationship Lending and Lines of Credit in Small Firm Finance.” *The Journal of Business*, 1995, 68(3), pp.351-381.

Berger, A. N. and Udell, G. F. “Small Business Credit Availability and Relationship Lending: The Importance of Bank Organizational Structure.” *The Economic Journal*, 2002, 112(477), pp.F32-F53.

Camerinelli, E. “Supply Chain Finance.” *Journal of Payments Strategy & Systems*, 2009, 3(2) , pp.114-128.

Chakuu, S.; Masi, D. and Godsell, J. “Exploring the Relationship between Mechanisms, Actors and Instruments in Supply Chain Finance: A Systematic Literature Review.” *International Journal of Production Economics*, 2019, 216, pp.35-53.

Chan, Y. S. and Kanatas, G. “Asymmetric Valuations and the Role of Collateral in Loan Agreements.” *Journal of Money, Credit and Banking*, 1985, 17(1), pp.84 – 95.

Chen, X.; Liu, C. and Li, S. “The Role of Supply Chain Finance in Improving the Competitive Advantage of Online Retailing Enterprises.” *Electronic Commerce Research and Applications*, 2019, 33, pp.100821.

Gelsomino, L. M.; de Boer, R.; Steeman, M. and Perego, A. “An Optimisation Strategy for Concurrent Supply Chain Finance Schemes.” *Journal of Purchasing and Supply Management*, 2019, 25(2), pp.185-196.

Hofmann, E. “Supply Chain Finance: Some Conceptual Insights.” *Beiträge Zu Beschaffung Und Logistik*, 2005, 16, pp.203-214.

Lam, H. K. and Zhan, Y. “The Impacts of Supply Chain Finance Initiatives on Firm Risk: Evidence from Service Providers Listed in the US.” *International Journal of Operations & Production Management*, 2021, 41(4), pp.383-409.

Liberti, J. M. and Mian, A. R. “Estimating the Effect of Hierarchies on Information Use.” *The Review of Financial Studies*, 2009, 22(10), pp.4057 – 4090.

Liebl, J.; Hartmann, E. and Feisel, E. “Reverse Factoring in the Supply Chain: Objectives, Antecedents and Implementation Barriers.” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2016, 46(4), pp.393–413.

More, D. and Basu, P. “Challenges of Supply Chain Finance: A Detailed Study and A Hierarchical Model Based on the Experiences of An Indian Firm.” *Business Process Management Journal*, 2013,19, pp.624-647.

Nguema, J.; Bi, G. B.; Ali, Z.; Mehreen, A.; Rukundo, C. and Ke, Y. Q. “Exploring the Factors Influencing the Adoption of Supply Chain Finance in Supply Chain Effectiveness: Evidence from Manufacturing Firms.” *The Journal of Business & Industrial Marketing*, 2021, 36(5), pp.706-716.

Petersen, M. A. and Rajan, R. G. “The Benefits of Lending Relationships: Evidence from Small Business Data.” *The Journal of Finance*, 1994, 49(1), pp.3 – 37.

Pfohl, H. C. and Gomm, M. “Supply Chain Finance: Optimizing Financial Flows in Supply Chains.” *Logistics Research*, 2009, 1(3), pp.149-161.

Song, H.; Yu, K. K.; Ganguly, A. and Turson, R. “Supply Chain Network, Information Sharing and SME Credit Quality.” *Industrial Management & Data Systems*, 2016, 116(4), pp.740-758.

Stiglitz, J. E. and Weiss, A. “Credit Rationing in Markets with Imperfect Information.” *The American Economic Review*, 1981, 71(3), pp.393-410.

Van der Vliet, K.; Reindorp, M. J. and Fransoo, J. C. “The Price of Reverse Factoring: Financing Rates vs. Payment Delays.” *European Journal of Operational Research*, 2015, 242(3),

pp.842-853.

Wuttke, D. A.; Blome, C.; Foerstl, K. and Henke, M. “Managing the Innovation Adoption of Supply Chain Finance—Empirical Evidence from Six European Case Studies.” *Journal of Business Logistics*, 2013, 34(2), pp.148-166.

Wuttke, D. A.; Blome, C. and Henke, M. “Focusing the Financial Flow of Supply Chains: An Empirical Investigation of Financial Supply Chain Management.” *International Journal of Production Economics*, 2013, 145(2), pp.773-789.

Wuttke, D. A.; Rosenzweig, E. D. and Heese, H. S. “An Empirical Analysis of Supply Chain Finance Adoption.” *Journal of Operations Management*, 2019, 65(3), pp.242-261.

Xu, X.; Chen, X.; Jia, F.; Brown, S.; Gong, Y. and Xu, Y. “Supply Chain Finance: A Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis.” *International Journal of Production Economics*, 2018, 204, pp.160-173.

Yan, N. and Sun, B. “Coordinating Loan Strategies for Supply Chain Financing with Limited Credit.” *Or Spectrum*, 2013, 35(4), pp.1039-1058.

Yang, S. A. and Birge, J. R. “Trade Credit, Risk Sharing, and Inventory Financing Portfolios.” *Management Science*, 2018, 64(8), pp.3667-3689.

Supply Chain Finance, SMEs’ Financing and Banking Structure under Uncertainty

Abstract: Supply Chain Finance (SCF) is a new financial service that equips financing with supply chain. First, using the data of listed small and medium-sized enterprises (SMEs) from 2006 to 2020, we empirically find SCF can effectively alleviate financing constraints of SMEs and reduce the operation uncertainty of SMEs. Then we construct a theoretical model to systematically analyze the specific impact and mechanism of three typical SCF modes on SME’s financing under operation uncertainty, respectively. Through the lens of model, we find: SMEs’ financing accessibility is related to its operational uncertainty, the scale of fund need, self-owned collateral value, as well as bank’s risk aversion, monitoring ability and capital cost, all of which also determine the optimal financing channel of SMEs; by reducing operation uncertainty of SMEs and improving monitoring ability of banks, SCF can alleviate the financing constraints of SMEs. Finally, we further analyze the change of the most suitable banking structure after the introduction of SCF. This paper has important policy significance for guiding the precise implementation of SCF and the reform of financial structure.

Key words: operation uncertainty, Supply Chain Finance, SMEs’ financing, banking structure

附录 A

A.1

证明：

$$\begin{aligned} & P_L \left[-e^{-\theta^j F_i (R_i^j - K^j)} \right] + (1 - P_L) \left[-e^{-\theta^j F_i ((1-\delta)A_i^j - 1 - K^j)} \right] \\ & \leq -e^{-\left[P_L \theta^j F_i (R_i^j - K^j) + (1 - P_L) \theta^j F_i ((1-\delta)A_i^j - 1 - K^j) \right]} \\ & = -e^{-\theta^j F_i (P_L R_i^j + (1 - P_L)(1-\delta)A_i^j - 1 - K^j)} < -e^{-\theta^j F_i r} \end{aligned}$$

第一个不等号成立是因为 $-e^{-x}$ 是凹函数；第二个不等号成立是因为对项目总期望净回报率以及 $R_i^j < a$ 的假定。

A.2 引理 1 证明

我们分别讨论式 (14) 等号的两端。等号左侧只依赖于 A_i^j 的变化，因此我们关注等式右侧如何随 C^j 、 K^j 、 θ^j 的变化而变化。

显然，等式右侧随 C^j 、 K^j 的增大而增大。

为了考察 θ^j ，我们将等式右侧对 θ^j 求导：

$$-\frac{1}{\theta^{j2} F_i (1-\delta)} \left\{ \log(1 - P_H) - \log \left[1 - P_H e^{-\theta^j F_i t_i^j} \right] + \theta^j F_i \frac{P_H t_i^j e^{-\theta^j F_i t_i^j}}{1 - P_H e^{-\theta^j F_i t_i^j}} \right\},$$

其中 $t_i^j = R_i^j - r - c_i^j - K^j$ ， $t_i^j > 0$ 。

因为：

$$\begin{aligned} -e^{-\theta^j F_i r} & \leq P_H \left[-e^{-\theta^j F_i (R_i^j - c_i^j - K^j)} \right] + (1 - P_H) \left[-e^{-\theta^j F_i ((1-\delta)A_i^j - 1 - c_i^j - K^j)} \right] \\ & \leq -e^{-\left[P_H \theta^j F_i (R_i^j - c_i^j - K^j) + (1 - P_H) \theta^j F_i ((1-\delta)A_i^j - 1 - c_i^j - K^j) \right]} \\ & = -e^{-\theta^j F_i (P_H R_i^j + (1 - P_H)((1-\delta)A_i^j - 1) - c_i^j - K^j)} \end{aligned}$$

又根据 $-e^{-x}$ 的单调性有：

$$P_H R_i^j + (1 - P_H) \left[(1 - \delta) A_i^j - 1 \right] - c_i^j - K^j - r \geq 0,$$

又因 $P_H R_i^j + (1 - P_H) \left[(1 - \delta) A_i^j - 1 \right] < R_i^j$ ，所以有 $t_i^j > 0$ 。

现在我们关注 $\log(1 - P_H) - \log \left[1 - P_H e^{-\theta^j F_i t_i^j} \right] + \theta^j F_i \frac{P_H t_i^j e^{-\theta^j F_i t_i^j}}{1 - P_H e^{-\theta^j F_i t_i^j}}$ ，如果 $\theta^j = 0$ ，那么这

个式子的值正好为 0。进一步地，求这个式子关于 θ^j 的导数，有：

$$-\frac{\theta^j P_H [t_i^j F_i]^2 e^{\theta^j F_i t_i^j}}{(e^{\theta^j F_i t_i^j} - P_H)^2} < 0, \quad \forall \theta^j > 0.$$

因此, $\log(1 - P_H) - \log[1 - P_H e^{-\theta^j F_i t_i^j}] + \theta^j F_i \frac{P_H t_i^j e^{-\theta^j F_i t_i^j}}{1 - P_H e^{-\theta^j F_i t_i^j}}$ 关于 θ^j 单调递减且最大值为

0。结合 $-\frac{1}{\theta^{j^2} F_i (1 - \delta)} < 0$, 可以得到:

$$-\frac{1}{\theta^{j^2} F_i (1 - \delta)} \left\{ \log(1 - P_H) - \log[1 - P_H e^{-\theta^j F_i t_i^j}] + \theta^j F_i \frac{P_H t_i^j e^{-\theta^j F_i t_i^j}}{1 - P_H e^{-\theta^j F_i t_i^j}} \right\} > 0$$

这意味着等式 (14) 的右侧关于 θ^j 单调递增。

综合考虑等式 (14) 两侧, 容易证明, A_i^j 分别关于 C^j 、 K^j 、 θ^j 单调递增, 再结合等式 (15) 和等式 (16), 就能够得到完整的引理 1 证明。

A.3 引理 2 证明

与引理 1 的证明相似, 等式 (14) 的左侧只依赖于 A_i^j 的变化, 因此我们先关注等式右侧如何随 m_i 的变化而变化 (m_i 包含了需要讨论的所有 σ_i^2 和 η_i)。

显然, 等号的右侧关于 m_i 单调递增, 因此下面我们关注 m_i 如何分别随 σ_i^2 、 η_i 的变化而变化。

根据 $m_i = \frac{1}{2} \eta_i F_i \sigma_i^2 - a - \frac{1}{\eta_i F_i} \log \left(1 - \frac{e^{\eta_i F_i b} - 1}{e^{\eta_i F_i b} - \frac{P_L}{P_H}} \frac{1}{P_H} \right)$, 可以得到:

$$\frac{\partial m_i}{\partial \sigma_i^2} = \frac{1}{2} \eta_i F_i > 0;$$

$$\frac{\partial m_i}{\partial \eta_i} = \frac{1}{2} F_i \sigma_i^2 + \frac{1}{\eta_i^2 F_i} \left\{ \log \left[P_H e^{\eta_i F_i b} - P_L - e^{\eta_i F_i b} + 1 \right] - \log \left(P_H e^{\eta_i F_i b} - P_L \right) \right. \\ \left. + \eta_i F_i b \frac{P_H e^{\eta_i F_i b}}{P_H e^{\eta_i F_i b} - P_L} + \eta_i F_i b \frac{(1 - P_H) e^{\eta_i F_i b}}{P_H e^{\eta_i F_i b} - P_L - e^{\eta_i F_i b} + 1} \right\} \quad (\text{A.3.1})$$

关注式子:

$$\log \left[P_H e^{\eta_i F_i b} - P_L - e^{\eta_i F_i b} + 1 \right] - \log \left(P_H e^{\eta_i F_i b} - P_L \right) + \eta_i F_i b \frac{P_H e^{\eta_i F_i b}}{P_H e^{\eta_i F_i b} - P_L} \\ + \eta_i F_i b \frac{(1 - P_H) e^{\eta_i F_i b}}{P_H e^{\eta_i F_i b} - P_L - e^{\eta_i F_i b} + 1} \quad (\text{A.3.2})$$

求上式关于 η_i 的导数:

$$\eta_i F_i^2 b^2 e^{\eta_i F_i b} \left[\frac{(P_H - P_L)(P_H e^{2\eta_i F_i b} - P_H^2 e^{2\eta_i F_i b} - P_L + P_L^2)}{(P_H e^{\eta_i F_i b} - P_L - e^{\eta_i F_i b} + 1)^2 (P_H e^{\eta_i F_i b} - P_L)^2} \right] \quad (\text{A.3.3})$$

如果 $1 \geq P_H + P_L$ ，那么 $\forall \eta_i > 0$ ，上面式子的值总是非负的，这意味着 (A.3.2) 关于 η_i 单调递增，进一步地，式子 (A.3.2) 的值也总是非负的，因为当 $\eta_i = 0$ 时它有最小值 0，因此 $\frac{\partial m_i}{\partial \eta_i} > 0$ 。

如果 $1 < P_H + P_L$ ，那么 $\forall \eta_i \in \left[0, \frac{1}{2F_i b} \log \left[\frac{P_L(1-P_L)}{P_H(1-P_H)} \right] \right]$ ，式 (A.3.3) 的值总是负的，

$\forall \eta_i \in \left(\frac{1}{2F_i b} \log \left[\frac{P_L(1-P_L)}{P_H(1-P_H)} \right], +\infty \right)$ ，式 (A.3.3) 的值总是正的。因此，当

$\eta_i = \frac{1}{2F_i b} \log \left[\frac{P_L(1-P_L)}{P_H(1-P_H)} \right]$ 时，等式 (A.3.2) 有最小值：

$$\frac{1}{2} \log \left[\frac{(1-P_H)(1-P_L)}{P_H P_L} \right] + \frac{1}{2} \log \left[\frac{P_L(1-P_L)}{P_H(1-P_H)} \right] \\ \cdot \frac{(P_H - P_L)[P_H P_L(1-P_H)(1-P_L)]^{\frac{1}{2}}}{2P_H P_L(P_H + P_L - P_H P_L - 1) + (P_H + P_L - 2P_H P_L)(P_H P_L(1-P_H)(1-P_L))^{\frac{1}{2}}}$$

根据 $1 < P_H + P_L$ ，

$$\frac{1}{2} \log \left[\frac{(1-P_H)(1-P_L)}{P_H P_L} \right] < 0, \quad \frac{1}{2} \log \left[\frac{P_L(1-P_L)}{P_H(1-P_H)} \right] > 0,$$

$$\frac{1}{2} \log \left[\frac{(1-P_H)(1-P_L)}{P_H P_L} \right] + \frac{1}{2} \log \left[\frac{P_L(1-P_L)}{P_H(1-P_H)} \right] > 0,$$

又因为 $P_H > P_L$ ，故：

$$\frac{(P_H - P_L)[P_H P_L(1-P_H)(1-P_L)]^{\frac{1}{2}}}{2P_H P_L(P_H + P_L - P_H P_L - 1) + (P_H + P_L - 2P_H P_L)(P_H P_L(1-P_H)(1-P_L))^{\frac{1}{2}}} > 1。$$

最后得到 $\forall \eta_i > 0$ ，式 (A.3.2) 的值总是正的，从而有 $\frac{\partial m_i}{\partial \eta_i} > 0$ 。

综上，我们得到等式 (14) 等号的右侧关于 m_i 单调递增，而 m_i 又分别关于 σ_i^2 、 η_i 单调递增，易得 A_i^j 分别关于 σ_i^2 、 η_i 单调递增，再结合等式 (16)，可以得到完整的引理 2。

A.4 引理 3 证明

根据等式 (14), 有:

$$\left(1 - \delta + \delta P_H e^{\theta^j F_i n_i^j}\right) \frac{\partial A_i^j}{\partial \sigma_i^2} = \frac{1}{2} \eta_i F_i P_H e^{\theta^j F_i n_i^j} \quad (\text{A.4.1})$$

$$\frac{\partial A_i^j}{\partial \eta_i} = \frac{P_H}{1 - \delta} \frac{e^{\theta^j F_i n_i^j}}{1 - P_H e^{\theta^j F_i n_i^j}} \left(\frac{\partial m_i}{\partial \eta_i} - \frac{\partial A_i^j}{\partial \eta_i} \right) \quad (\text{A.4.2})$$

$$\begin{aligned} & \left(1 - \delta + \delta P_H e^{\theta^j F_i n_i^j}\right) \frac{\partial^2 A_i^j}{\partial \sigma_i^2 \partial \theta^j} + \delta P_H e^{\theta^j F_i n_i^j} \left(F_i n_i^j - \frac{\partial A_i^j}{\partial \theta^j} \theta^j F_i \right) \frac{\partial A_i^j}{\partial \sigma_i^2} \\ &= \frac{1}{2} F_i P_H \eta_i e^{\theta^j F_i n_i^j} \left(F_i n_i^j - \frac{\partial A_i^j}{\partial \theta^j} \theta^j F_i \right) \end{aligned} \quad (\text{A.4.3})$$

$$\begin{aligned} & \left(1 - \delta + \delta P_H e^{\theta^j F_i n_i^j}\right) \frac{\partial^2 A_i^j}{\partial \sigma_i^2 \partial \eta_i} + \delta P_H e^{\theta^j F_i n_i^j} \theta^j F_i \left(\frac{\partial m_i}{\partial \eta_i} - \frac{\partial A_i^j}{\partial \eta_i} \right) \frac{\partial A_i^j}{\partial \sigma_i^2} \\ &= \frac{1}{2} F_i P_H e^{\theta^j F_i n_i^j} + \frac{1}{2} \eta_i F_i P_H e^{\theta^j F_i n_i^j} \theta^j F_i \left(\frac{\partial m_i}{\partial \eta_i} - \frac{\partial A_i^j}{\partial \eta_i} \right) \end{aligned} \quad (\text{A.4.4})$$

其中 $n_i^j = r + c_i^j + K^j + m_i - A_i^j$ (根据 A.2, $n_i^j = -t_i^j$, 故 $n_i^j < 0$)。

之后可以得到:

$$\begin{aligned} & P_H e^{\theta^j F_i n_i^j} \left(F_i n_i^j - \frac{\partial A_i^j}{\partial \theta^j} \theta^j F_i \right) \left(\frac{1}{2} \eta_i F_i - \delta \frac{\partial A_i^j}{\partial \sigma_i^2} \right) \\ &= \left(1 - \delta + \delta P_H e^{\theta^j F_i n_i^j}\right) \frac{\partial^2 A_i^j}{\partial \sigma_i^2 \partial \theta^j} \end{aligned} \quad (\text{A.4.5})$$

$$\begin{aligned} & (1 - \delta) \theta^j F_i \frac{\partial A_i^j}{\partial \eta_i} \left(1 - P_H e^{\theta^j F_i n_i^j}\right) \left(\frac{1}{2} \eta_i F_i - \delta \frac{\partial A_i^j}{\partial \sigma_i^2} \right) + \frac{1}{2} P_H F_i e^{\theta^j F_i n_i^j} \\ &= \left(1 - \delta + \delta P_H e^{\theta^j F_i n_i^j}\right) \frac{\partial^2 A_i^j}{\partial \sigma_i^2 \partial \eta_i} \end{aligned} \quad (\text{A.4.6})$$

最终有:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 A_i^j}{\partial \sigma_i^2 \partial \theta^j} &= \frac{P_H e^{\theta^j F_i n_i^j} \left(F_i n_i^j - \frac{\partial A_i^j}{\partial \theta^j} \theta^j F_i \right) \left(\frac{1}{2} \eta_i F_i - \delta \frac{\partial A_i^j}{\partial \sigma_i^2} \right)}{1 - \delta + \delta P_H e^{\theta^j F_i n_i^j}} < 0, \\ \frac{\partial^2 A_i^j}{\partial \sigma_i^2 \partial \eta_i} &= \frac{(1 - \delta) \theta^j F_i \frac{\partial A_i^j}{\partial \eta_i} \left(1 - P_H e^{\theta^j F_i n_i^j}\right) \left(\frac{1}{2} \eta_i F_i - \delta \frac{\partial A_i^j}{\partial \sigma_i^2} \right) + \frac{1}{2} P_H F_i e^{\theta^j F_i n_i^j}}{\left(1 - \delta + \delta P_H e^{\theta^j F_i n_i^j}\right)} > 0, \end{aligned}$$

引理 3 得证。

附录 B

图 2 至图 11 的数值模拟通过 MATLAB 完成，表 B-1 记录了标准参数的设置，表 B-2 记录了对应图中相关参数的变化区间。

参数	值	参数	值
P_H	0.95	r	0.01
P_L	0.1	θ^S	1.01
a	0.1	θ^B	1
δ	0.3	C^S	0.0506
σ_i	1.001	C^B	0.0877
b	0.001	K^S	0.02
η_i	1	K^B	0.005
F_i	2.43		

图	参数	区间	图	参数	区间
2	C^S	[0.0263,0.0506]	9	σ'_i	1
	C^B	[0.0634,0.0877]		F_i	[2.43,2.555]
3	K^S	[0.02,0.03]	10	β_i^j	0.01
	K^B	[0.005,0.015]		s	0.9
4	θ^j	[1,1.5]		σ''_i	1
5	σ_i	[1,1.001]		F_i	[2.43,2.555]
6	η_i	[1,1.001]		β_i^S	0.008
7	θ^j	[1,1.5]	11	β_i^B	0.01
	η_i	[1,1.001]		σ'''_i	1
8	F_i	[2.43,2.555]		F_i	[2.43,2.555]